

Alma Mater Studiorum – Università di Bologna

DOTTORATO DI RICERCA

COLTURE ARBOREE, AGROSISTEMI FORESTALI E  
PAESAGGISTICI

Ciclo XXI

**Settore/i scientifico disciplinari di afferenza:** AGR-04 ORTICOLTURA-FLORICOLTURA

**INFLUENZA DELLE CARATTERISTICHE QUALI-  
QUANTITATIVE DELLA LUCE DA FONTI ARTIFICIALI  
SULLA FISIO-MORFOLOGIA DI PIANTE VERDI PER  
INTERIOR LANDSCAPING**

**Presentata da:** Ugo Neretti

**Coordinatore Dottorato**

**Relatore**

**Prof. Luca Corelli Grappadelli**

**Prof. Maria Eva Giorgioni**

**Esame finale anno 2009**

# INDICE

<b>PARTE GENERALE</b>	<b>4</b>
<b>INTRODUZIONE</b>	
LUCE NATURALE ED EFFETTI SULL'UOMO	6
ILLUMINAZIONE NATURALE DEGLI INTERNI	9
<i>LE SUPERFICI VETRATE E I POZZI DI LUCE</i>	9
<i>I CONDOTTI SOLARI</i>	11
CONDIZIONI DI LUCE OTTIMALE NEGLI INTERNI LAVORATIVI	12
GESTIONE DELLA LUCE NEGLI INTERNI: APPLICAZIONI INNOVATIVE E MATERIALI	13
LUCE ARTIFICIALE ED EFFETTI SULL'UOMO	16
LA LUCE MODULATA	18
CARATTERISTICHE DELLE LAMPADE IMPIEGATE PER L'ILLUMINAZIONE ARTIFICIALE DEGLI INTERNI	21
PRINCIPALI TIPOLOGIE DI LAMPADE UTILIZZATE NEGLI INTERNI	21
<i>LAMPADE AD INCANDESCENZA</i>	21
<i>LAMPADE ALOGENE</i>	22
<i>LAMPADE FLUORESCENTI TUBOLARI</i>	22
<i>LAMPADE FLUORESCENTI COMPATTE</i>	22
TIPOLOGIE DI LAMPADE NON UTILIZZATE NEGLI INTERNI	23
<i>LAMPADE A VAPORI DI MERCURIO</i>	23
<i>LAMPADE A VAPORI DI SODIO</i>	23
<i>LAMPADE AD INDUZIONE</i>	23
FONTI LUMINOSE LED	24
<i>CARATTERISTICHE FISICHE E VANTAGGI D'IMPIEGO</i>	24
<i>UTILIZZO NELL'ILLUMINAZIONE INTERNA ED ESTERNA</i>	27
<i>IMPIEGO NELLA COLTIVAZIONE DELLE PIANTE</i>	27
PIANTE A FOGLIAME DECORATIVO PER L'INTERIOR LANDSCAPING	29
<i>CARATTERISTICHE E FUNZIONI</i>	29
<i>ORIGINI E STORIA DELLE PIU' COMUNI SPECIE DA INTERNI</i>	30
<i>PRODUZIONE</i>	31
INTERIOR PLANTSCAPING	32

LE PIANTE DA INTERNO QUALI PURIFICATORI DELL'ARIA	33
CONDIZIONI DI LUMINOSITA' NATURALE PER LE PIANTE NEGLI INTERNI	34
<b>NECESSITA' LUMINOSE PER LE PIANTE DA INTERIOR PLANSCLAPING</b>	38
<b>APPLICAZIONI</b>	40
<b>APPARECCHI DI ILLUMINAZIONE E INSTALLAZIONI INDOOR PER GLI SPAZI VERDI</b>	41
RISPOSTA DELLE PIANTE ALLA DURATA E ALL'INTENSITA' DELLA LUCE NELL'OTTICA DELLA PROGETTAZIONE DELL"INTERIOR PLANTSCLAPE"	42
EFFETTI DELLO SPETTRO LUMINOSO SULLE PIANTE NELL'OTTICA DELLA PROGETTAZIONE DELL"INTERIOR PLANTSCLAPE".	43
<b>PARTE SPERIMANTALE</b>	<b>45</b>
<b>SCOPO DELLO STUDIO</b>	<b>45</b>
<b>PRINCIPALI CARATTERISTICHE DELLE SPECIE ANALIZZATE</b>	47
<b>CARATTERIZZAZIONE DELLA RISPOSTA FOTOSINTETICA ALLA LUCE DELLE PRINCIPALI SPECIE DI PIANTE COLTIVATE PER GLI INTERNI</b>	60
Introduzione:	60
Materiali e metodi:	60
Risultati:	63
Discussioni e conclusioni:	64
<b>INFLUENZA DELLA CONCENTRAZIONE DI CO<sub>2</sub> E DELLA LUCE SUL PROCESSO FOTOSINTETICO DELLE PRINCIPALI SPECIE COLTIVATE PER GLI INTERNI.</b>	74
Introduzione:	74
Materiali e metodi:	74
Risultati e considerazioni:	75
<b>INFLUENZA DELLA DURATA DEL PERIODO DI ILLUMINAZIONE SUL PROCESSO FOTOSINTETICO IN <i>Ficus elastica</i> E <i>Dieffenbachia picta</i>.</b>	88
Introduzione:	88
Materiali e metodi:	89
Risultati e considerazioni:	89
<i>Ficus elastica</i>	89
<i>Dieffenbakia picta</i>	91
<b>RISPOSTA FOTOSINTETICA DELLA PIANTA A MODIFICAZIONI DELLO SPETTRO LUMINOSO MEDIANTE L'USO DI LED AD EMISSIONE NEL BIANCO, BLU E ROSSO</b>	93
Introduzione:	93
Materiali e metodi:	94
Risultati e discussioni:	98
<b>CONCLUSIONI</b>	105
<b>BIBLIOGRAFIA:</b>	<b>110</b>
<b>APPENDICE</b>	<b>121</b>

# PARTE GENERALE

## INTRODUZIONE

L "interior landscaping" è la moderna pratica di progettazione, organizzazione e gestione delle piante negli spazi interni dove con il termine inglese del nome si vuol sottolineare come negli ambienti confinati sia necessaria la presenza di piante e sistemazioni verdi adatte all'arredo e al benessere umano. Similmente ai paesaggi esterni, gli spazi agli interni degli edifici possono essere considerati paesaggi colorati, nei quali le piante, abbinate ad elementi, architettonici ecc., forniscono punti focali e un ambiente generale nel complesso molto piacevole.

Differenti autori hanno dato interpretazioni a questo termine; Richar Gains, autore del libro 'Interior landscape', (1977) utilizza il termine di "plantscapes" per introdurre l'elemento "pianta" nei criteri architettonici di progettazione degli interni, restringendo il termine a ciò che riguarda solo la pianta calata nella realtà architettonica. Nelson Hammer autore del libro: "An American Design Portfolio of Green Environments" (1999) definisce con il termine "interior plantscape" gli interni-verdi che presentano le caratteristiche di veri e propri giardini ricreati negli spazi confinati. L'architetto Paul Cooper autore del libro "Gardens within buildings" (2003) usa il termine "interiorscape" per definire giardini chiusi che "sebbene non siano all'aria aperta, essendo intrinseci all'elemento architettonico, danno comunque la sensazione di non essere confinati tra le mura". Sebbene il significato attribuito dai diversi autori ai termini "Interior landscape", "interior plantscape", "interiorscape" possa differire leggermente a seconda delle interpretazioni, il fattore che accomuna queste tipologie di gestione del verde negli interni è il rapporto pianta-ambiente interno.

Numerosi studi e settori hanno messo in evidenza quanto sia importante la presenza dell'arredo verde negli ambienti confinati e frequentati dall'uomo.

I principali filoni di ricerca su questo argomento hanno considerato in modo particolare i seguenti benefici:

- incremento della produttività lavorativa; (Ursem 2008; Chang C.P. et al. 2005).
- purificazione dell'aria; (Lohr. I. V. et al. 2006; Wolwerton 1989)
- effetto benefico sulla salute umana degli spazi verdi ospedalieri; (Fjeld 1998; Beaylyev 1975)
- induzione delle sensazioni di benessere e distensione in centri commerciali e nelle scuole. (Yang 1997)

Considerando gli aspetti positivi ormai riconosciuti e studiati sulla psicologia umana e sulla salubrità degli ambienti chiusi apportati dalle piante, si rende quanto mai opportuna la creazione di

spazi verdi che da un lato rispettino le norme di sicurezza e il benessere umano, dall'altro che creino condizioni il più possibile naturali per le piante, in grado di garantirne la sopravvivenza e la crescita in condizioni artificiali.

La progettazione degli spazi verdi interni deve garantire ambienti ottimali soddisfacendo le esigenze della pianta in termini di appropriati substrati di coltivazione, idonei apporti idrici, opportuni tassi di umidità, conformi ai valori cui corrisponde la salubrità per l'uomo, e soprattutto una buona disponibilità luminosa.

Proprio questo ultimo fattore diventa oggi estremamente importante perché non va dimenticato l'aspetto del risparmio energetico che una corretta progettazione illuminotecnica può garantire in questi ambiti.

Impiegando le comuni lampade che soddisfano le esigenze umane di illuminazione non sempre si riesce a fornire un quantitativo sufficiente di luce per le piante e questo va a discapito del processo fotosintetico. Il raggiungimento del punto di compensazione spesso non è garantito per la bassa intensità luminosa e i ritmi di accensione e spegnimento, condizionati dagli orari lavorativi e di vita, non seguono i tempi utili per la crescita.

La dislocazione dei punti luce non tiene infatti conto della forte riduzione dell'intensità luminosa in funzione della distanza dalle fonti luminose. Parallelamente le lampade progettate per la coltivazione delle piante con idonee caratteristiche, soprattutto in termini di intensità e spettro, non possono essere convenientemente impiegate negli interni per il fastidioso effetto a livello visivo per l'uomo.

Oltre al rispetto dei criteri di progettazione degli impianti di illuminazione per interni debbono quindi essere rispettate le esigenze vitali degli spazi verdi; qualità della luce, (intensità e spettro), dislocazione dei punti luce con appropriate caratteristiche per un maggior benessere delle piante.

Il miglioramento delle tecniche e delle tecnologie di produzione delle lampade oggi giorno ha consentito di ottenere innovativi prodotti molto più efficaci e versatili come le fonti LED di ultima generazione che stanno diventando sorgenti qualitativamente e quantitativamente efficienti sia per l'impiego architettonico sia come valida alternativa o complementarietà alle tradizionali lampade per la coltivazione dei vegetali. Queste lampade infatti, per le caratteristiche dei materiali impiegati, consentono non solo di aumentare l'efficienza luminosa ma anche di fornire a complemento dello spettro di emissione di un'altra lampada una banda ben selezionata per lunghezza d'onda.

## LUCE NATURALE ED EFFETTI SULL'UOMO

La sorgente luminosa primaria per l'uomo è rappresentata dalla luce solare. La frazione di questa radiazione elettromagnetica con lunghezze d'onda che l'occhio umano può percepire, (massima sensibilità a 555 nm nella banda del verde) è detta luce visibile. La luce visibile contiene approssimativamente classi di lunghezze d'onda ben definite a formare lo spettro luminoso con lunghezze d'onda comprese tra 380 nm e 780 nm, ad ogni classe può essere associato un colore (tab. 1).

Microonde, onde radio, pur appartenendo alla radiazione elettromagnetica non sono percepite dall'occhio umano. La luce visibile viene assorbita da particolari cellule all'interno dell'occhio denominato fotorecettori. Questo assorbimento inizia una catena di processi chimici e di segnali elettrici, che si conclude nella percezione di un'immagine. I nostri occhi vedono le lunghezze d'onda differenti nello spettro del visibile come colori e la luce che genericamente identifichiamo come bianca, ha in realtà moltissime tonalità.

Il corpo umano è influenzato nelle sue funzioni dal tipo di luce, dall'intensità, dalla lunghezza del ciclo notte-giorno. Qualsiasi tipo di luce influenza l'attività cognitiva e l'umore e primi fra tutti i periodi di attività e riposo. Indagini seguite in Scandinavia, dove i giorni invernali sono molto brevi e le notti molto lunghe, hanno dimostrato che il tasso di depressione è molto più alto in inverno che in estate (Dresler 1962; Zabaluyeva 1975). Altre ricerche mediche confermano l'ipotesi che il nostro organismo per funzionare in maniera ottimale necessita dell'intera gamma delle lunghezze d'onda della luce solare e che vivendo troppo a lungo sottoposto a luci artificiali può subire danni (Zane 1980; Adams 1982; Frenkel 1987; Morita T. et al. 1989; Chow 2004). In Italia è stato recentemente condotto uno studio dai ricercatori del dipartimento di ricerche neuropsichiche dell'Ospedale San Raffaele di Milano, durato tre anni su oltre 600 pazienti affetti da disturbi emozionali che ha evidenziato come il tempo di degenza dei pazienti ospedalizzati sia consistentemente inferiore quando la stanza è nell'ala est, esposta al sole diretto rispetto alle altre stanze (Benedetti 2000). Proprio per questi motivi una delle terapie oggi riconosciute anche dal mondo scientifico come più efficace per la cura dei disturbi emozionali e depressivi è basata sulla semplice esposizione a luce solare a spettro completo. Gli ultravioletti e gli infrarossi, essendo invisibili all'occhio, non hanno alcun potere illuminante; è questo il motivo per il quale la loro presenza è sempre poco considerata nella illuminazione artificiale, ricca solo di alcune lunghezze d'onda ed estremamente carente di altre, seppur estremamente importanti per la salute.

Tab. 1 – Classi di banda spettrale/colore e corrispettivo intervallo di lunghezze d'onde della radiazione solare (<http://www.lighting.philips.com>)

<b>BANDA SPETTRALE - COLORE</b>	<b>LUNGHEZZA D'ONDA INDICATIVA (nm)</b>
<b>UVA</b>	<b>100 - 280</b>
<b>UVB</b>	<b>280 - 315</b>
<b>UVC</b>	<b>315 - 380</b>
<b>VIOLA</b>	<b>380 - 425</b>
<b>INDACO</b>	<b>425 - 486</b>
<b>BLU</b>	<b>486 - 493</b>
<b>BLU-VERDE</b>	<b>493 - 510</b>
<b>VERDE</b>	<b>510 - 552</b>
<b>VERDE-GIALLO</b>	<b>552 - 573</b>
<b>GIALLO</b>	<b>573 - 587</b>
<b>ARANCIO</b>	<b>587 - 645</b>
<b>ROSSO</b>	<b>645 - 780</b>
<b>IRA</b>	<b>780 - 1400</b>
<b>IRB</b>	<b>1400 - 3000</b>
<b>IRC</b>	<b>3000 - 10000</b>

Gli effetti positivi dovuti all'esposizione alla luce solare diretta consistono principalmente in una serie di fattori legati alla luce visibile e a quella ultravioletta. Alla componente visibile sono legati:

- miglioramento dello stato emotivo; (Planck 1974; Haan 1990; Veitch 1998; Espiritu; 1994;)
- maggiore tolleranza allo stress; (Lohmeier et al. 1986)
- riduzione dei comportamenti aggressivi; (Schauss 1979, Veitch 1998)
- miglioramento dell'efficacia del sistema immunitario; (Neer 1971; Kime et al. 1980)
- miglioramento del rendimento fisico.; (; Boyce 2003; Veitch 1998; Marchesi et al. 1994)
- miglioramento del rendimento mentale e della capacità di apprendimento; (Warren. 2004)
- accelerazione dei processi di recupero delle forze dopo malattie; (Kunitsina 1993; Stevens. 2001)
- azione regolatrice del ciclo sonno/veglia; (Mariana et al. 2006)
- riduzione disturbi del sonno; (Mariana et al. 2006)
- ripristino dei ritmi circadiani alterati da jet-lag; (Van et al 1998; Wight 2001)
- aumento della libido e capacità riproduttive; (Boyce 2003)
- miglioramenti funzioni endocrine/ormonali; (Boyce 2003)
- miglioramenti in artrosi, artriti e reumatismi; (Boyce 2003)

- miglioramento della vista; (Wealw 1992; Sliney 2001; Thapan 2001)
- regolarizzazione ciclo mestruale e disturbi relativi. (Boyce 2003)

Dalla componente ultravioletta dipendono:

- miglioramento dello stato emotivo; (Kripe 1985; Abbas et al. 2006)
- sveglia mattutina con riduzione dei livelli di melatonina; (Marchesi 2002)
- incremento dei livelli di Testosterone; (Liberban 1991)
- riduzione dei livelli di colesterolo nel sangue; ; (Grime 1996)
- produzione di vitamina D, migliore assorbimento del calcio e minerali con riduzione di carie e osteoporosi; (Kenz et al. 1988)
- effetto germicida e preventivo contro le malattie infettive; (Wurtman 1975; Zane 1980)
- azione estetica (abbronzatura); (Marchesi 2002)
- azione terapeutica nelle affezioni cutanee; (Abbas et al. 2005)
- aumento della libido e delle capacità riproduttive; (Smith 1991)
- miglioramenti in tutte le funzioni endocrine ed ormonali; (Abbas et al. 2005)
- incremento dei valori dell'ormone della crescita; (Zane 1980)
- efficacia terapeutica nella cura della psoriasi. (Marchesi 2002)

Oltre alla composizione spettrale della luce è importante anche la variazione dei livelli luminosi durante le 24 ore del giorno, per due motivi: in primo luogo, i nostri corpi hanno ritmi naturali e seguono l'alternanza giorno-notte; in secondo luogo, l'organismo ha un'esigenza biologica di luce. Indicativamente i livelli medi di illuminazione negli uffici e nelle case sono intorno ai 600-1000 Lux. All'aperto la luce naturale del sole produce tuttavia un'intensità ambientale media che va da 2.500 a 10.000 Lux con punte di 150.000 Lux con il sole estivo a mezzogiorno. L'intensità luminosa con ampio spettro indicata dagli studi effettuati per la terapia della depressione è pari a circa 10.000 Lux, con tempi di esposizione di almeno 30 minuti al giorno. Tutti gli studi sugli effetti antidepressivi di luce ad alta intensità luminosa hanno tuttavia utilizzato sorgenti con spettri di emissione distorti (l'intensità luminosa si misura alla sola lunghezza d'onda di 550 nm) e privi di ultravioletti. (Abbas 2005) Quando la sorgente luminosa è in grado di riprodurre tutto lo spettro di emissione della luce solare compresi i raggi ultravioletti, l'intensità luminosa effettiva minima necessaria per ottenere l'effetto antidepressivo si riduce notevolmente. E' estremamente importante quindi, oltre che l'intensità luminosa, anche il tipo di spettro di emissione delle sorgenti di luce.



## **ILLUMINAZIONE NATURALE DEGLI INTERNI**

L'impiego dell'illuminazione naturale comporta indubbiamente vantaggi in termini di risparmio energetico. L'accordo di Kyoto sottolinea l'importanza del tema energetico e volge grande attenzione allo studio dei parametri ambientali atti a sfruttare le varie risorse naturali tra cui l'irraggiamento. Lo studio del percorso solare può essere un utile strumento nel caso di interventi di progettazione di interni poiché suggerisce soluzioni che, accrescendo l'ottimizzazione di una sorgente pulita e gratuita, migliorano sia l'economia di gestione dell'edificio sia il comfort interno.

E' ormai dimostrato che l'illuminazione con luce naturale aumenta notevolmente il benessere degli utenti e il grado di accettazione e di piacevolezza di un ambiente, fattore di primaria importanza negli edifici abitati per molte ore ed uso prevalentemente diurno come scuole, musei, uffici e ambienti di lavoro in genere. Prodotti e tecnologie innovative migliorano la diffusione della luce naturale; la luce incidente sulla superficie di un edificio può in vari modi essere gestita, organizzata, e perfino veicolata.

### ***LE SUPERFICI VETRATE E I POZZI DI LUCE***

Per risolvere almeno in parte la poco equilibrata distribuzione della luce, negli edifici, è necessario utilizzare vetrature con superfici e finiture ad elevato indice di rifrazione, in grado di diffondere, la luce a distanza verso l'interno. Tramite il perfezionamento delle membrane trasparenti, la luce incidente può in vari modi essere gestita e filtrata, consentendo un miglioramento delle condizioni di luminosità e di temperatura all'interno degli ambienti. Fondamentali risultano pertanto il tipo di vetro (o materiale plastico) utilizzato, il suo coefficiente di conduttanza termica, rifrazione luminosa e la sua configurazione geometrica.

Per migliorare il campo di diffusione può risultare utile che la copertura vetrata abbia la faccia interna ad elevata riflessione diffondente (non speculare per evitare fastidiosi effetti di abbagliamento). Veri dispositivi per sfruttare al massimo l'illuminazione naturale, evitandone i fenomeni collaterali (abbagliamento, eccessiva trasmissione termica), sono anche i vetri selettivi capaci di filtrare i raggi solari grazie alla loro particolare conformazione.

Gli spazi vetrati creano un alto comfort ambientale per gli utenti che godono dell'illuminazione solare e della vegetazione, facilmente proliferante in questi luoghi. La presenza di luce naturale, con i suoi mutamenti cromatici e quantitativi, valorizza queste aree di fruizione protette, rendendole "vive" e dinamicamente connesse con il paesaggio circostante.

Le superfici vetrate, tuttavia, se pure affascinanti per la loro trasparenza e apprezzati per il modello di vita sociale che implicano, comportano spesso alle nostre latitudini (l'Italia risulta compresa tra il 7° (ovest di Torino) ed il 18° meridiano (a est di Lecce) e tra il 47° (Trentino Alto Adige) ed il 37° parallelo (Pantelleria) il problema del surriscaldamento estivo. Per evitare fenomeni di condensa, o

eccessiva umidità, è fondamentale garantire una costante ventilazione mentre per evitare eccessivi carichi termici o luminosi è di primaria importanza valutare attentamente le caratteristiche del materiale di copertura.

Gli involucri trasparenti presentano, infatti, dei rischi di applicazione che possono rendere inefficaci le soluzioni adottate e critico il benessere degli utilizzatori. Come tutte le superfici vetrate possono presentare guadagni (illuminazione naturale e guadagno termico in inverno) e perdite (surriscaldamento estivo o dispersione invernale) nel bilancio energetico.

Attivando la ventilazione naturale e riducendo nel contempo l'eccessivo irraggiamento diretto, con sistemi di schermatura, possono diventare filtro termico, con funzione strategica ai fini del raffrescamento estivo e del riscaldamento invernale.

Altre tecnologie permettono di portare la luce naturale all'interno di edifici profondi o senza aperture dirette sull'esterno, migliorando i livelli di illuminamento nelle zone dell'edificio lontane dalle zone finestate. Per rendere più uniforme la distribuzione della luce: diminuire il livello di illuminamento a ridosso della finestra e aumentare la luce lungo tutta la profondità dell'ambiente, si possono disporre, sul soffitto, lamelle o elementi con superfici riflettenti che consentono di distribuire a varie profondità la radiazione proveniente dalla finestra (trattate nel capitolo riguardante la luce biodinamica).

Una delle soluzioni più utilizzate è l'uso di pannelli orizzontali aggettanti, "light shelf", sporgenti verso l'interno e spesso anche verso l'esterno del locale.

La superficie superiore deve avere finiture riflettenti affinché la luce incidente su di essa venga in massima parte riflessa verso il soffitto prima che questa possa raggiungere direttamente l'osservatore.

Un sistema adottato in diversi progetti di ristrutturazione di edifici storici consiste nel fare un restauro rispettoso delle caratteristiche architettoniche per le facciate esterne e di trasformare nel contempo cavedi, corti o atrii, in veri e propri pozzi di luce, grazie a coperture trasparenti e superfici capaci di aumentare notevolmente la diffusione dell'illuminazione naturale interna.

Nelle tipiche case a corte, organizzate attorno ad un atrio centrale, qualora si rispetti nel recupero la tipologia originaria dell'edificio e la si integri con un tetto trasparente, si può aumentare e migliorare il controllo climatico dell'edificio.

Nell'intervento di ristrutturazione la copertura trasparente, con il suo effetto barriera sullo spazio sottostante, che nei palazzi a più piani è chiaramente di grande altezza, permette di aumentare la dimensione delle aperture dando agli ambienti maggiore luce e maggiore senso di comunicazione verso l'esterno e verso l'intero fabbricato. L'indubbio vantaggio è di rendere più gradevoli e vivibili queste aree di transizione dove peraltro è sempre possibile creare dei giardini e in generale spazi verdi capaci di abbellire e, se opportunamente ventilati, di rendere più salubre l'aria, assumendo una funzione importante per la qualità ambientale.

Non bisogna tuttavia sottovalutare, soprattutto nel caso che queste strutture coinvolgano intere facciate di edifici multipiano, che la quantità di luce diurna che raggiunge gli interni è minore rispetto a quella presente prima dell'aggiunta della copertura. Questi spazi infatti non riceveranno più una luce diretta ma filtrata e modificata dalla superficie vetrata che oltre alla parte trasparente o traslucida, presenta parti opache: giunti e struttura metallica.

Studiando la curvatura della copertura e utilizzando particolari superfici anche per piani, passerelle, ascensori e tutti gli elementi presenti nell'invaso, è inoltre possibile ottenere una riflessione della luce molto maggiore e restituire luminosità diffusa agli spazi, rendendo anche i cavedi veri e propri pozzi di luce.

### ***I CONDOTTI SOLARI***

Tramite i condotti solari la luce naturale, captata alla sommità dell'edificio, viene convogliata e trasportata nei vari piani. Elementi fondamentali sono i captatori rappresentati da superfici speculari (lenti Fresnel, pannelli riflettenti, sistemi a specchi ) posizionate in posizioni strategiche (generalmente sul tetto) che concentrano e rimandano a loro volta i raggi solari al diffusore.

I sistemi più sofisticati sono dotati di "eliostato", un elemento mobile, capace di seguire il cammino del sole e di posizionarsi secondo la migliore angolazione rispetto ai raggi incidenti.

La luce viene trasportata attraverso condotti solari, veri e propri tubi cavi in polycarbonato, rivestiti internamente di materiale altamente riflettente (coeff. di riflessione  $R > 0.90$ ) come argento, alluminio o pellicole microprismatiche (PMMA). Un'estremità del condotto viene montata sulla copertura dell'edificio, agganciata all'elemento captatore, l'altra, seguendo percorsi obliqui, orizzontali o tortuosi a seconda delle strutture che deve attraversare, è posta sul soffitto dell'ambiente da illuminare, come una normale plafoniera.

La sezione dei condotti è preferibilmente circolare, per ottimizzarne il funzionamento ottico, e il diametro, a seconda dell'area che si vuole illuminare, indicativamente varia dai 20 cm utilizzati in genere per piccoli ambienti domestici (di circa 5-6 metri quadrati), come bagni e corridoi, ai 60 cm utilizzati in genere per l'illuminazione di uffici, aule, spazi commerciali.

La luce proveniente dalla calotta posta sul tetto (il captatore solare), entra nel condotto e, grazie alla pellicola microprismatica, per riflessione interna totale, viene continuamente rinviata all'interno del tubo. In questo modo la luce si propaga per tutta la lunghezza della cavità e viene emessa all'estremità del condotto posto sul soffitto dell'ambiente da illuminare.

Queste tecnologie permettono di portare la luce naturale negli ambienti interni senza aperture dirette sull'esterno migliorando i livelli di illuminamento nelle zone dell'edificio lontane dalle zone finestate. Possono essere una soluzione vantaggiosa per il risanamento di stanze o zone cieche degli edifici, per l'illuminazione di corpi di fabbrica profondi, di ambienti aperti, dove il contatto con le aperture perimetrali e quindi con l'esterno non sempre è possibile.

Con vantaggi di risparmio e di comfort visivo e ambientale, arricchiscono di luce naturale spazi altrimenti estremamente statici e artificiosi. Numerosi sono ormai i “tubi solari” in commercio pronti per una facile installazione che possono essere integrati negli involucri edilizi, senza comportare stravolgimenti sostanziali o irreversibili. Le piccole dimensioni rendono l'intervento non-invasivo: normalmente il captatore è facilmente posizionabile tra i travetti della struttura di copertura e la cupola collocata sul tetto occupa uno spazio molto ridotto. Nel caso di centri storici l'invisibilità di questa tecnologia diventa una caratteristica vantaggiosa: la calotta può essere aggiunta al tetto dell'edificio in modo da risultare non visibile dal livello stradale.

## **CONDIZIONI DI LUCE OTTIMALE NEGLI INTERNI LAVORATIVI**

Studi sulle condizioni ottimali di luminosità da impiegare negli interni ad uso lavorativo hanno messo in evidenza la necessità di ricreare giuste condizioni di luce atte a favorire alti livelli della prestazione visiva ed evitare disagio. Al fine di determinare in che misura differenti tipologie di illuminazione possano garantire la qualità visiva, progettisti dell'illuminazione indoor in Nord America, hanno valutato l'effetto della luce artificiale (luce diretta o indiretta, distribuzione dei punti luce, qualità luminosa, intensità, durata dell'illuminazione) sulle prestazioni lavorative, la salute ed il benessere del personale impiegato nei comuni locali adibiti ad ufficio.

Il confort visivo direttamente collegato alla qualità della luce risulta interferire in una reazione a catena sulle performance lavorative sulla qualità del lavoro, nonché ha dimostrato di avere un effetto indiretto sull'umore e la percezione emotiva di buona salute e benessere. Le condizioni di luminosità dell'ambiente interferiscono sull'umore dell'impiegato e questo, ha un effetto sulla sensazione di salute e di benessere. Le condizioni di salute e di benessere danno a loro volta la motivazione nell'eseguire una prestazione lavorativa ottimale.

L'interazione tra i fattori considerati: (illuminazione diretta o indiretta della postazione di lavoro; distribuzione dei punti luce nella stanza; qualità ed intensità luminosa, superficie complessiva illuminata) porta a preferire un sistema di illuminazione diretto sulla postazione di lavoro e indiretto nella stanza per gli evidenti effetti positivi.

Considerando lo spettro luminoso i migliori risultati sono stati indotti illuminando la postazione lavorativa con luce chiara fredda (Juslen 2005).

## GESTIONE DELLA LUCE NEGLI INTERNI: APPLICAZIONI INNOVATIVE E MATERIALI

Lo studio e la progettazione dell'illuminazione naturale o "daylighting" è sicuramente la sfida del prossimo decennio. L'illuminazione naturale degli interni è, di solito, dovuta a tre componenti: la luce diretta del sole, la luce diffusa dall'atmosfera e la luce proveniente per riflessione dalle superfici interne ed esterne. L'illuminazione così composta è contraddistinta da variabili che vanno considerate nel corso della progettazione degli interni, ciò si ottiene facendo penetrare la luce fondamentalmente in tre modalità:

–"Toplighting"

–"Sidelighting"

–"Lightshelves" e "Corelighting"

Nel primo caso la luce entra dall'alto tramite lucernari, cupolini e piccole finestrate. Questo tipo di copertura permette di utilizzare l'illuminazione naturale durante tutte le ore del giorno anche in capannoni di ampie dimensioni. Nell'edilizia residenziale o simile, le aperture sul tetto sono dotate di requisiti che soddisfano varie necessità come ad esempio vetri autopulenti che garantiscono oltre ad un effetto estetico migliore anche un maggior ingresso di luce.

Nel 'Sidelighting' l'incidenza laterale della luce richiede invece elementi foto-catalizzanti come davanzi riflettenti ma al contempo anche di controllo e/o selezione solare come frangisole e lamelle orizzontali.

Nel 'Lightshelves' vengono predisposte strutture generalmente a livello delle finestrate in grado di riflettere la luce verso l'interno e sul soffitto in maniera soffusa per rendere particolarmente gradevole l'effetto luminoso e nel contempo evitare luce diretta sulle persone.

Queste innovative applicazioni di gestione della luce negli interni si trovano realizzate ad esempio nel Sino Italian Ecological and Energy Efficient Building, l'edificio che ospiterà dipartimenti e laboratori per la ricerca in campo energetico a Pechino, significativamente ribattezzato "edificio-foglia" in virtù della sua capacità di utilizzare e trasformare la luce solare in energia. Le facciate sono state progettate tenendo conto della forma dell'edificio e delle particolari condizioni climatiche del luogo in cui è stato costruito con caratteristiche differenziate a seconda dell'esposizione: parapetti che fungono da barriere isolanti a nord; un sistema a intercapedine doppio per le facciate esposte ad est; un sistema a intercapedine doppio abbinato a ventilazione naturale, con lamelle esterne trasparenti e regolabili ad ovest; intercapedine singolo per le facciate esposte a sud con strutture a sbalzo (terrazze giardino) per la protezione dai raggi solari, sulle quali trovano spazio oltre 1000 metri quadrati di pannelli fotovoltaici che assicurano la maggior parte della richiesta elettrica interna.

Un altro campo particolarmente fiorente sul mercato attuale della gestione dell'illuminazione naturale all'interno degli edifici è quello dei tessuti foto-selettivi per l'architettura. L'evoluzione delle tende applicate esternamente ha portato alla proposta da parte delle aziende di tessuti selettivi nei

confronti della luce esterna, di forme e cromie molto differenziate. Nelle schermature applicate al Paul Klee Museum a Bern in Svizzera è stato impiegato un tessuto che permette il passaggio della luce solare eliminando l'86% della radiazione termica. Grazie a queste caratteristiche contribuisce a creare un'atmosfera di luce di qualità e a gestire al meglio l'edificio dal punto di vista termico. Offre inoltre una grande visibilità verso l'esterno ed uno straordinario comfort visivo.

Altro elemento particolarmente interessante dal punto di vista illuminotecnico è il vetro che dovrebbe essere extrachiaro (vetri di ultima generazione) visto che il vetrocamera composto da doppi vetri contornati da un materiale plastico di forte spessore limita e riflette molto la luce. Il requisito della selettività del vetro ha trovato sicuramente una componente ad ampio spettro di funzionalità nei vetri serigrafati laccati a fuoco in quanto oltre alla flessibilità di processo (ad es. possibilità di serigrafia parziale, ecc) non compromette in modo decisivo la trasparenza. Le lastre prismatiche integrate in aree limitate di finestratura per l'elevato costo consentono di riflettere verso l'esterno o contro il soffitto la luce del sole ma lasciano passare la luce diffusa dell'atmosfera. I 'Laser Cut Panels' (LCP) riflettono il sole con l'ausilio di minuti tagli ricavati a laser nelle lastre di vetro acrilico, mentre gli 'Holographic optic elements' (HOE), elementi ottico-olografici sono composti di un film olografico disposto in vetro stratificato per deflettere la luce.

Anche per quanto riguarda le finestre che permettono l'illuminazione e l'areazione degli ambienti oggi viene data particolare attenzione a proposte innovative atte a migliorare la loro capacità di far fluire la luce all'interno dell'edificio, queste si basano sulla corretta realizzazione di profilo, forma del vetro e posa del serramento. La forma è determinata spesso da scelte puramente di design o da normative edilizie, mentre sarebbe preferibile tenesse conto dell'esposizione al sole e di esigenze reali, non da consuetudini. Basti pensare che le aperture delle facciate degli edifici costruiti fino agli inizi del secolo scorso, generalmente tendevano a catturare molta più luce, i serramenti enfatizzavano la verticalità permettendo in tutte le ore e stagioni un'ottima trasmissione dei raggi solari, rendendo le abitazioni al loro interno meno anguste.

Elemento non meno importante è la tipologia del profilo del serramento che può essere in PVC, legno, alluminio e acciaio; minore è la sua dimensione a vista, maggiore è la trasmissione luminosa. I materiali ferrosi risultano particolarmente indicati visto che le dimensioni dei profili possono essere molto ridotte grazie alla loro robustezza e possono permettere di realizzare finestre di ampie dimensioni anche ad un'unica anta. A migliorare la trasmittanza luminosa soprattutto nei profili in acciaio intervengono, i bordi arrotondati, poche linee di costruzione, il materiale omogeneo, le superfici più lucide. A tal proposito i profili verniciati di bianco o meglio in acciaio inox riflettono la luce anche del 55%. Infine, la posa del serramento gioca un ruolo importante: se cassa e telaio vengono nascosti all'esterno, incassandoli nel muro, si sfrutta al massimo la dimensione delle aperture.

Nell'ambiente ufficio due grandi innovazioni consentono di eliminare barriere visive e favorire l'entrata della luce in particolare in spazi di vasta metratura. I serramenti tagliafuoco di dimensioni

ridotte abbinati a vetri idonei sostituiscono le vecchie porte tagliafuoco. Forniscono una maggior armonia estetica e ottemperano alle nuove disposizioni per la sicurezza agli incendi in vigore da maggio 2007. Si tratta di sistemi integrati di profili, guarnizioni e accessori per la costruzione di porte, infissi e compartimentazioni con caratteristiche di resistenza al fuoco E30, EW60/90 (norme ministeriali in vigore del 23/3/2007 in attuazione della direttiva comunitaria 89/106/CE 'Sicurezza in caso d'incendio').

Svariati sono i progetti di ricerca attivati negli ultimi anni sulla captazione solare tramite tunnel: la diffusione si deve alla disponibilità sul mercato di componenti ottici innovativi e materiali speciali che aumentano le prestazioni complessive di captazione e trasporto. Progetti come "Antelio", cofinanziato dalla Commissione Europea, progettano, realizzano e monitorizzano prototipi destinati ad innescare l'evoluzione di prodotti finiti sul mercato.

Un ruolo fondamentale nella captazione tramite tunnel è il processo cui viene sottoposto l'alluminio che segue le fasi di: sgrassaggio, brillantatura, decapaggio, ossidazione, colorazione e fissaggio. La brillantatura, in particolare, è un processo indispensabile nel trattamento di alluminio per illuminotecnica, o comunque se si desidera ottenere i migliori risultati per quanto riguarda la riflessione totale e speculare. È un'operazione che mira a rendere riflettente la superficie mediante l'asportazione selettiva delle microscopiche irregolarità responsabili della rugosità del metallo base; ovviamente fornisce risultati migliori quanto più alta è la qualità della finitura del materiale grezzo.

L'impiego di pellicole ottiche collegate a un impianto di illuminazione artificiale variabile con regolazione automatica è un'altra pratica di realizzazione che si sta diffondendo negli ultimi anni, queste consentono ad esempio di progettare, combinando luce artificiale e luce naturale, sistemi integrati di captazione e trasporto della luce naturale con buoni livelli di uniformità. Il sistema tecnicamente è costituito da una guida ottica di lunghezza variabile (Light Pipe), con un involucro trasparente in policarbonato e lungo la superficie interna, da una pellicola a microprismi 3M Optical Lighting Film (Olf) realizzata con la tecnologia della microreplicazione. Si tratta delle nuove pellicole prismatiche (Olf) e multistrato a specchio (Vmf) che permettono di distribuire, direzionare, uniformare, guidare e miscelare sia la luce naturale sia quella artificiale, raggiungendo livelli di omogeneità, flessibilità e design impensabili fino a poco tempo fa. La superficie della pellicola si comporta in pratica sia come specchio riflettente, sia come pellicola trasparente e grazie a queste caratteristiche trasporta la luce in modo uniforme e soffuso, senza la produzione di ombre e a temperatura ambiente. Il risultato è una fonte di luce molto simile a quella prodotta dal sole, con una superficie emittente fredda, una forte riduzione dell'abbagliamento, il massimo comfort visivo e la riduzione sia dei costi di installazione e manutenzione, sia del consumo energetico.

Altre realizzazioni moderne sono i fotocondotti, dove la luce del sole raccolta da eliostati (specchi controllati da dispositivi computerizzati) o concentrata per mezzo di specchi o lenti è convogliata verso l'interno dell'edificio. Le colonne di luce create da Carpenter e Norris raggiungono un'altezza

di 36 metri e costituiscono opere di grande interesse non solo per lo studio della captazione luminosa e per il suo effetto funzionale ma anche per il virtuoso percorso e per la modulazione della luce stessa.

Un eliostato mobile collocato sulla copertura segue il sole e deflette la luce attraverso uno specchio all'interno di un'anima di vetro dove i singoli elementi prismatici la riflettono verso il basso (Norris 2004).

Un altro sistema molto innovativo è quello di far arrivare la luce naturale all'interno con le fibre ottiche: il sistema è costituito da una serie di lenti di Fresnel che filtrano la luce solare captata da un eliostato in grado di seguire il sole dall'alba al tramonto grazie ad una cellula fotosensibile e da un motore ed un minicomputer.

I materiali di nuova generazione isolanti trasparenti (TIMs) sono un'altra grande innovazione di questi ultimi anni che consentono la diffusione della radiazione solare ed impediscono la penetrazione dei raggi abbaglianti; sono costituiti da materiale solido trasparente a bassissima densità chiuso tra due lastre di vetro o tra due lastre acriliche trasparenti. Vi sono inoltre materiali cromogenici, costituiti da una struttura multistrato con la capacità di variare le proprie caratteristiche di trasmissione ottica, ed in particolare la trasmittanza, al variare della radiazione solare incidente (fotocromici), della temperatura (termocromici) o alla variazione del campo elettrico esterno (elettrocromici). In particolare, i rivestimenti per vetro depositati tramite processo a freddo sottovuoto spinto (polverizzazione catodica) o in linea (processo a caldo) tramite polverizzazione di alcune sostanze liquide o distribuzione di un mix di sostanze gassose (Chemical Vapour Deposition) consentono la produzione di vetri ad alta prestazione come i vetri magnetronici, quelli pirolitici, quelli fotocatalitici e idrofili (autopulenti).

Altra innovazione oggi in atto è il pavimento costituito da corpi illuminanti in grado di generare tramite tecnologia red green blu (RGB) 16,5 milioni di colori, questa tecnologia permette alla luce di riflettersi sulle lastre in qualsiasi condizione: in piena luce, in ombra e anche al chiaro di luna. Ulteriori componenti per gli interni, sono controsoffitti ideati per un'elevata riflessione della luce (~90%) grazie ad avanzate tecnologie di specchiatura dell'alluminio contribuiscono anche a favorire il risparmio energetico.

## **LUCE ARTIFICIALE ED EFFETTI SULL'UOMO**

La luce artificiale nelle sue differenti tonalità cromatiche ha dimostrato di avere importanti effetti a livello emozionale, fisiologico e comportamentale: diversi colori possono eccitare, calmare, bilanciare, motivare, ispirare. Agli studi di Goethe del 1820 sui colori sviluppati ancora prima che esistesse l'illuminazione artificiale la scienza dell'illuminotecnica non ha mai dato importanza (Goethe 1997), così come a quelli di Lüscher che hanno portato alla formulazione dell'ipotesi



che l'attrazione o la repulsione soggettiva verso alcuni particolari colori sia associata a precise caratteristiche mentali, comportamentali e *fisiologiche* ([www.luscher-psicosomatica.it](http://www.luscher-psicosomatica.it)).

I lavori che hanno dimostrato le reazioni a precise esposizioni cromatiche sulla psicologia, sulla neurologia, e sui sistemi immunitario ed endocrino sono ormai innumerevoli. Impressionanti sono i risultati degli studi condotti da Schauss su reclusi violenti in penitenziari di massima sicurezza, la loro aggressività, valutata sia in termini comportamentali che biochimici si è ridotta notevolmente semplicemente dipingendo le celle di rosa (Schauss 1985). Alcune ricerche mediche sembrerebbero confermare l'ipotesi che il nostro organismo per funzionare in maniera ottimale ha bisogno dell'intera gamma delle lunghezze d'onda della luce solare e che vivendo troppo a lungo sottoposti a luci artificiali si possa subire danni (Zabaluyeva 1995). Più importante della composizione spettrale della luce è però la variazione nei livelli luminosi durante le 24 ore del giorno, per due motivi: in primo luogo, i nostri corpi hanno ritmi naturali e seguono l'alternanza giorno-notte; in secondo luogo, l'organismo ha un'esigenza biologica di luce. Indagini seguite in Scandinavia, dove i giorni invernali sono molto brevi e le notti molto lunghe, il tasso di depressione è molto più alto in inverno che in estate (Smith 1991).

Anche gli ultravioletti sono per l'organismo indispensabili, anche se l'esposizione deve essere a giuste dosi e con corrette modalità.

I raggi ultravioletti si dividono in tre grandi famiglie in funzione delle lunghezze d'onda che li caratterizzano : possono essere UVA (100-280 nm), UVB(280-315 nm) ed UVC(315-380 nm).

Anche se poco noti, gli studi che hanno dimostrato che una carenza di raggi ultravioletti ha un effetto di indebolimento del sistema immunitario, sono innumerevoli. (Felten 1991)

I numerosi studi del fotobiologo John Ott, hanno indicato come i raggi ultravioletti abbiano un ruolo decisivo per il corretto funzionamento del sistema immunitario (Ott 1985).

Un'altra impressionante serie di studi sugli effetti positivi della luce ad ampio spettro e dei colori è stato quello condotto negli anni '80 da Wohlfarth in scuole elementari. Ma il primo studio fu effettuato in una scuola per bambini handicappati, l'Elves Memorial Child Development Centre ad Edmonton in Canada. Fu valutato l'impatto combinato di luci ad ampio spettro e colori selezionati, sul comportamento e la fisiologia di bambini ciechi con disturbi del comportamento e bambini con handicap severi. Le pareti della scuola furono dipinte con colori caldi, arancione e giallo, sulla base dei lavori di Ertel degli anni 70 che dimostrarono un sorprendente incremento del quoziente intellettivo e del rendimento scolastico dei bambini in età scolare, per effetto della permanenza in locali dipinti di questi colori. I risultati furono estremamente positivi con riduzione drammatica dei comportamenti aggressivi, la cosa sorprendente fu che anche i bambini ciechi ebbero gli stessi risultati dimostrando indirettamente che non solo gli occhi ma che tutto il corpo è sensibile alla luce e ai colori. Lo studio incoraggiò Wohlfarth a ripetere altre prove con l'obiettivo di capire quali fossero gli effetti della luce e quali dei colori. Tra gli anni 1982 e 1983 vennero inserite in un studio quattro scuole elementari a Wetaskiwin in Canada con l'obiettivo di valutare gli effetti di colori e luci

ad ampio spettro sui bambini. Vennero considerati la pressione del sangue, lo stato emotivo, le assenze per malattia, i giudizi in condotta, i livelli di rumore, il quoziente intellettivo e il rendimento scolastico su tutti i bambini per un anno scolastico. Furono confrontate con la condizione preesistente le situazioni con pareti colorate, lampade ad ampio spettro, e pareti colorate e lampade ad ampio spettro abbinate. I risultati furono impressionanti. I migliori risultati furono quelli ottenuti nella scuola dove sia le luci che i colori erano stati sostituiti. I bambini ebbero il miglior rendimento scolastico, furono meno stressati, i quozienti intellettivi aumentarono decisamente e le assenze per malattie furono un terzo di quelle della scuola con le condizioni originarie. I peggiori risultati si ebbero nel controllo. Altri studi noti sugli effetti positivi della luce ad ampio spettro sono, quelli di Warren durati 2 anni ed effettuati sostituendo le lampade nelle aule scolastiche su 327 bambini delle scuole elementari. In questo caso vennero creati quattro gruppi con luci differenti nelle rispettive aule, Al primo gruppo vennero lasciate le solite lampade, al secondo vennero installate luci ad ampio spettro, al terzo luci ad ampio spettro con sorgenti aggiuntive di ultravioletti, nell'ultimo lampade ad alta pressione ai vapori di sodio. Vennero considerati all'inizio dell'anno scolastico e alla fine di due interi anni scolastici gli effetti sulla salute dei denti, il numero di carie, crescita e sviluppo e risultati scolastici. Anche in questo caso i risultati furono a dir poco sconvolgenti, gli studenti delle aule a cui erano state cambiate le luci con tubi ad ampio spettro e sorgenti aggiuntive di ultravioletti furono quelli che in assoluto ebbero i migliori risultati con meno carie dentali, migliori risultati scolastici, crescita e sviluppo di tutti gli altri gruppi (Warren 1996).

## **LA LUCE MODULATA**

La luce, agisce favorevolmente sull'organismo sia in termini di composizione spettrale, intensità e durata. Il benessere psico-fisico deriva dall'alternarsi ciclico del giorno/notte e consente all'organismo di produrre ormoni endocrini che hanno la proprietà di regolare, una serie complessa di processi chimico-fisici, che sono alla base delle più importanti funzioni del corpo umano. Da recenti ricerche è emerso che l'uomo non ha ricettori sensibili allo spettro visibile della luce solo negli occhi ma è provvisto anche di ricettori che determinano un effetto biologico: in particolare, la produzione di due ormoni, la melatonina ad effetto rilassante e il cortisolo ad effetto stimolante. La percezione della luce varia a livello sensoriale da individuo ad individuo e dipendono da vari fattori quali il carattere, l'appartenenza territoriale e le caratteristiche dello spazio in cui si trova l'utente (Felten 1991).

Secondo lo psicoterapeuta Luscher, la preferenza, l'intolleranza o l'indifferenza nei confronti di certe qualità di luce può rivelare con precisione i tratti della personalità, gli aspetti caratteriali e le tendenze emotive dell'individuo nei confronti della vita affettiva e di relazione (Luscher et al. 1976 – test dei colori). La psicologa Angela Wright distingue le personalità caratteriali in funzione della luce definendo; personalità solari, quelle amichevoli ed ottimiste che prediligono i toni chiari,

delicati e caldi e cioè le sorgenti incandescenti caratterizzate da una luce bianco-calda (2700K); personalità eleganti, quelle equilibrate, rilassanti che scelgono i colori freddi, non luminosi, ma al contempo delicati; personalità calorose quelle socievoli, affidabili e concrete che scelgono toni caldi ma molto più intensi, luci calde (sulle tonalità del giallo-arancio) tra i 2500K e i 20000K; personalità moderne e “high-tech” quelle che prediligono toni molto netti e forti, corrispondenti alla luce di tonalità bianco-azzurro (sorgenti fluorescenti spesso con una luce bianco-azzurra di 4-6000K). La preferenza per una certa qualità di luce sembra anche rappresentare una potente chiave d’accesso all’inconscio, sia nei bambini che negli adulti. Per quanto riguarda l’appartenenza territoriale, a nord si prediligono le tonalità calde, le distribuzioni morbide delle brillanze e tenui foto-variazioni, mentre nei paesi mediterranei si predilige una luce forte e vivace. In funzione dello spazio in cui si trova l’utente la luce deve portare un messaggio; negli ospedali la luce deve ricreare un’atmosfera serena ma stimolante, nelle scuole e nelle sale di lettura la luce deve favorire un’atmosfera creativa, negli ambienti di lavoro stimolare la concentrazione e l’attività, nei musei e nelle esposizioni favorire la visione e l’esame dell’esposto senza affaticare, nelle aree di interni destinate ad ospitare animali ricreare diversi habitat, nei locali per attività ricreative creare un’atmosfera confortevole e favorire un uso ottimale degli spazi, nelle grandi aree in interni come aeroporti, stazioni, ecc. un’atmosfera confortevole ma formale.

Al fine di evitare disagi psicologici e fisiologici come la SAD (Seasonal Affective Disorder), SBS (Sick Building Syndrome) e ADD (Attentional Deficit Disorder), la luce deve incrementare il senso di benessere della persona e di conseguenza veicolare una forte spinta motivazionale come negli ambienti di lavoro. In tali ambienti al fine di elevare il livello prestazionale si interviene con svariati accorgimenti che garantiscono soluzioni illuminotecniche intelligenti quali cercare di migliorare la qualità della luce variando l’intensità e lo spettro (Peter 1994).

Un’innovazione di grande interesse nell’ultimo ventennio è l’illuminazione dinamica e personalizzata in grado di ricreare uno scenario luminoso ‘naturale’ controllando l’illuminazione in base alle necessità dell’utente. Questa tiene conto dei ritmi giornalieri e considera sia le reazioni del corpo umano sia lo studio del migliore tipo di luce per massimizzare il rendimento delle attività e per evitare fenomeni di affaticamento dovuti alla luce. L’illuminazione è suddivisa in interventi modulati nelle diverse ore del giorno:

Ore 09:00 – La luce diurna mattutina (alba: 4000K) segnala al cervello di aumentare la produzione di cortisolo, l’ormone responsabile della stimolazione corporea. A quest’ora del giorno la persona è attiva e non accusa problemi di concentrazione. La luce bianca diurna incrementa di intensità linearmente fino a 5600K e stimola l’organismo umano (stesso effetto anche della luce fredda e brillante) innalzando il livello di energia delle persone in arrivo in ufficio.

Ore 11:00 – Durante il giorno, nelle ore di luce, il livello di cortisolo rimane sufficientemente elevato tale da mantenere un buon grado di attenzione ed efficienza. Le forti componenti di luce indiretta, di tonalità neutra, ricordano la posizione alta del sole e creano un legame con l’esterno. Se è

necessario un elevato grado di concentrazione, si richiede una luce fredda ma intensa sulla scrivania o nell'area adibita allo svolgimento di determinate funzioni.

Ore 12:30 – Pausa pranzo (6000K). La vista esterna e il contatto con la luce naturale diventa indispensabile per una pausa rigenerante.

Ore 14:00 – Dopo pranzo si avverte generalmente un senso di sonnolenza. Il livello di luminosità deve aumentare nuovamente e la luce diventare bianca fredda.

Ore 15:30 – Gli intervalli di maggiore intensità luminosa aumentano l'attenzione. Un modo ideale per completare questo effetto è l'illuminazione delle pareti in tonalità diurna.

Ore 17:00 – Poco prima della fine della giornata lavorativa, il passaggio a una luce bianca più fredda rappresenta un'iniezione di energia che rende più pronti ad affrontare il rientro a casa oppure ad affrontare un'ultima performance della giornata. Per chi trattiene fino a tardi al lavoro, la luce bianca calda a 3000K crea un'atmosfera domestica trasmettendo un senso di calore che ricorda quello del sole al tramonto. L'illuminazione generale calda di media intensità, abbinata a un'illuminazione diffusa, crea un'atmosfera fresca e rilassante che ricorda i toni del tramonto sui 2000° Kelvin.

Ore 20.00 – Si continuano a prediligere toni caldi, sui 1700K. Per prepararsi al riposo notturno vengono impiegate luci colorate; blu ad effetto distensivo, rosso stimolante o verde che crea sensazioni di serenità.

Ore 03:00 – L'assenza di luce naturale innalza i livelli dell'ormone della melatonina nell'organismo umano.

A partire da alcune ricerche scientifiche avviate da laboratori universitari, gli architetti Skene e Scuri hanno creato un sistema computerizzato sviluppato con il supporto del Lighting Research Center del Rensselaer Polytechnic Institute di Troy (New York) basandosi su una nuova concezione della luce artificiale che considera non solo la funzione visiva della luce ma anche quella psico-fisiologica. Si tratta di un sistema a luce dinamica in grado di produrre stimoli luminosi che crea un ritmo temporale anche negli ambienti artificiali. Tale luce che cambia intensità e colore col passare delle ore può raggiungere livelli di illuminamento anche molto elevati.

Nel programma 'My White Light' approntato da un gruppo di studio multidisciplinare coordinato da De Bevilacqua e da Inghilleri presso l'Università degli Studi di Milano, l'iniziale ricerca di personalizzazione della luce negli interni trova nel colore una prima risposta alla necessità dell'individuo di crearsi un ambiente luminoso ad hoc nonché di supporto allo stato di benessere psico-fisico e di gratificazione. Questo programma è concretizzato nel progetto 'The Human Light' e trova una seconda declinazione nel progetto A.L.S.O. dove la ricerca si estende anche ad altre variabili relative all'ambiente quali suono e qualità dell'aria.

Il progetto 'Luxerion' presentato al Light & Building di Francoforte 2008 con il motto "la luce che respira" introduce il concetto di apparecchi multifunzione in grado di integrare illuminazione e trattamento dell'aria. I vantaggi dell'illuminazione personalizzata risiedono principalmente nella

possibilità di regolare il livello luminoso e la temperatura di colore in base alle preferenze dell'utente, avere un numero di scenari preimpostati con temperatura di colore e livello luminoso predefiniti, poter controllare in modo separato il livello luminoso e/o la temperatura di colore per impostare l'illuminazione in base alle proprie preferenze. La regolazione da parte degli utenti avviene semplicemente mediante telecomando, pannello di controllo, interruttore o un e-mood collegato ad un sistema dati BUS (binary unit system).

Questa gestione della luce induce a risparmiare in teoria fino al 60% di energia con un solo impianto che sfrutti l'incidenza della luce diurna regolando di conseguenza quella artificiale e basterebbe installare un sistema di comandi orari e segnalatori di presenza che spengano la luce nei locali vuoti per risparmiare fino al 30%. La gestione della luce artificiale comporta anche la possibilità di creare scenari luminosi, dove sistemi modulari plug&play lasciano spazio ad ogni idea creativa sulla luce offrendo una valida alternativa all'illuminazione tradizionale soprattutto in ambienti di piccole dimensioni e con destinazioni particolari come ad esempio sale riunioni, reception, zone wellness, negozi o showroom.

## **CARATTERISTICHE DELLE LAMPADE IMPIEGATE PER L'ILLUMINAZIONE ARTIFICIALE DEGLI INTERNI**

Per la valutazione delle lampade vanno considerate caratteristiche quali il flusso luminoso (lm), l'efficienza luminosa (lm/W, l'illuminamento ( $lx=lm/mq$ ), la resa dei colori (IRC) e la temperatura di colore ( $^{\circ}K$ ). *Vedi appendice*. Tra le tipologie più diffuse nell'illuminazione degli interni vi sono le lampade ad incandescenza, le alogene, le fluorescenti tubolari, le fluorescenti compatte e i *LED*.

## **PRINCIPALI TIPOLOGIE DI LAMPADE UTILIZZATE NEGLI INTERNI**

### ***LAMPADE AD INCANDESCENZA***

Inventata nel 1879 da Thomas Alva Edison, la lampada ad incandescenza è la più comune nelle nostre case. Sfrutta l'effetto Joule in quanto un filamento di tungsteno viene riscaldato dal passaggio della corrente elettrica e diviene incandescente. Il bulbo in vetro permette di creare il vuoto all'interno della lampada in modo che il filamento non possa bruciare. L'impiego è molto semplice poichè la loro accensione è immediata, non sono richieste apparecchiature ausiliarie e la *resa dei colori* è ottima (IRC=100). La *temperatura di colore* è  $2700^{\circ}K$ . Variazioni nella tensione di alimentazione si riflettono sensibilmente sul flusso luminoso. Purtroppo hanno una bassa *efficienza luminosa* (8-15 lm/W) e una vita limitata (1000 ore), se confrontata con altri tipi di lampade. Solo il 5% dell'energia viene convertita in luce, il resto viene perso come calore. E' prevista la loro eliminazione dal mercato.

## **LAMPADE ALOGENE**

Sono anch'esse lampade ad incandescenza e quindi sfruttano lo stesso principio. Nel bulbo sono introdotte piccole quantità di alogeno che danno luogo a un processo che riporta sul filamento il tungsteno volatilizzato. Alcune di esse possono essere dotate anche di specchio ellittico, parabolico o dicroico al fine di orientare e concentrare il flusso luminoso. Anche le lampade alogene hanno accensione immediata, non richiedono apparecchiature ausiliarie e hanno un'ottima resa dei colori (IRC=100). Hanno una *efficienza luminosa* superiore alle normali lampade ad incandescenza (16-25 lm/W) e una vita doppia (2000 ore), ma hanno un costo decisamente più elevato, una maggiore temperatura di funzionamento e sono più delicate. La *temperatura di colore* va dai 2900 °K ai 3000 °K. Il bulbo non deve essere toccato con mani nude, poichè le tracce lasciate innescano un processo di devettrificazione. Esistono lampade alogene miniaturizzate, alimentate anche a bassa tensione (6-12V) con e senza specchio.

## **LAMPADE FLUORESCENTI TUBOLARI**

Queste lampade fanno parte della categoria delle *lampade a scarica nei gas*. Sono costituite da un tubo le cui pareti sono rivestite di fosforo, che emettono luce poichè colpiti dalla luce ultravioletta prodotta dal gas di mercurio all'interno. Per accendersi hanno bisogno di una *tensione di innesco* che si crea grazie allo starter e quindi di un dispositivo che limiti la corrente di funzionamento ovvero del reattore. La loro *efficienza luminosa* è più alta di quella delle lampade ad incandescenza (40-90 lm/W) e la durata può arrivare alle 10000 ore. Purtroppo hanno bisogno di apparecchiature ausiliarie (starter e reattore), hanno grandi dimensioni e generalmente non hanno un'accensione immediata e non si possono usare con regolatori di luce. La *resa cromatica* ha valori che variano, a seconda dei modelli, da IRC=65 a 85. La *temperatura di colore* può andare dai 1700 °K ai 6500 °K. La durata risente del numero di accensioni e le basse temperature possono ridurre sensibilmente il flusso. Le *lampade a scarica nei gas* creano un effetto stroboscopico per cui oggetti in rapido movimento, sia rettilineo che circolare, possono apparire fermi o dotati di movimenti a scatti.

## **LAMPADE FLUORESCENTI COMPATTE**

Funzionano sullo stesso principio delle *lampade fluorescenti*. Le apparecchiature ausiliarie sono di tipo elettronico e fanno parte integrante della lampada stessa, che può essere quindi avvitata a un portalampada come una normale lampada ad incandescenza. L'efficienza luminosa e la durata sono simili a quelle delle lampade fluorescenti normali, però le dimensioni sono nettamente inferiori, poichè il tubo risulta ripiegato in forme diverse. La loro durata risente del numero di accensioni, pertanto sono lampade per uso prolungato e continuo nel tempo. Dopo l'accensione

hanno bisogno di un pò di tempo per riscaldarsi e raggiungere la massima emissione luminosa. Non possono essere usate con regolatori di luce.

## **TIPOLOGIE DI LAMPADE NON UTILIZZATE NEGLI INTERNI**

Vi sono altre lampade ma generalmente non utilizzate in ambito domestico in quanto fastidiose per l'uomo:

### ***LAMPADE A VAPORI DI MERCURIO***

Utilizzate generalmente per illuminare grandi edifici di tipo industriale, hanno bisogno di un apposito alimentatore. L'accensione è lenta e avviene in circa 4-5 minuti e l'eventuale riaccensione può avvenire solo dopo alcuni minuti di raffreddamento. L'efficienza luminosa è 30-60 lm/W, la temperatura di colore 2900-4200 K e la durata 10000 ore. In questa categoria di lampade sono presenti anche lampade a luce miscelata, con un'efficienza luminosa di 11-26 lm/W, temperatura di colore di 3500 °K e una durata di 3000-4000 ore. Anche le lampade ad alogenuri metallici hanno bisogno di alimentatore e di accenditore, la loro efficienza luminosa è 67-94 lm/W e la temperatura di colore di 4000-4600 K. La loro durata è circa 5000 ore.

### ***LAMPADE A VAPORI DI SODIO***

Sono lampade ad alta pressione che hanno bisogno di alimentatore e di accenditore. La luce prodotta è "bianco-oro" (caratteristica di emissione del sodio) queste hanno un'efficienza luminosa di 65-125 lm/W. La temperatura di colore è 1900-2100 K, la durata 10000 ore. Esistono nuovi tipi di queste lampade che non necessitano di accenditore, per cui possono utilizzare lo stesso alimentatore delle lampade a vapori di mercurio. Il funzionamento è a bassa pressione: la luce emessa è monocromatica (gialla) con un'efficienza luminosa di 123-179 lm/W e una temperatura di colore 1800 °K, la durata è 10000 ore.

### ***LAMPADE AD INDUZIONE***

La loro realizzazione è recente. Il principio di funzionamento prevede l'eccitazione di un gas tramite onde elettromagnetiche. La loro efficienza luminosa è 65 lm/W, la temperatura di colore 3000-4000 K e la durata 60000 ore. Vengono utilizzate principalmente nell'illuminazione architettonica di grandi scenari.

## **FONTI LUMINOSE LED**

### ***CARATTERISTICHE FISICHE E VANTAGGI D'IMPIEGO***

Il termine *LED* è l'acronimo di Light Emitting Diode ed è un dispositivo che sfrutta le proprietà ottiche di alcuni materiali semiconduttori per produrre fotoni a coppia elettrone-lacuna. Gli elettroni e le lacune vengono iniettati in una giunzione di silicio adeguatamente lavorata definita zona di ricombinazione attraverso due regioni del diodo nel quale vengono alternate materiali di diverso tipo che permettono di ottenere differenti colorazioni. Il colore della radiazione emessa è quindi definito dalla distanza in energia tra i livelli energetici di elettroni e lacune e corrisponde tipicamente al valore della banda d'eccitazione del semiconduttore impiegato. I *LED* sono quindi un particolare tipo di diodi, formati da un sottile strato di materiale semiconduttore. Quando sono sottoposti ad una tensione diretta per ridurre la barriera di potenziale della giunzione, gli elettroni della banda di conduzione del semiconduttore si ricombinano con le lacune della banda di valenza rilasciando energia sufficiente per produrre fotoni. A causa dello spessore ridotto del chip un ragionevole numero di questi fotoni può fuoriuscire ed essere emesso come luce. I *LED* sono formati da fotoni da GaAs (arseniuro di gallio), GaP (fosfuro di gallio), GaAsP (fosfuro arseniuro di gallio), SiC (carburo di silicio) e GaInN (nitruro di gallio e indio). L'esatta scelta dei semiconduttori determina la lunghezza d'onda dell'emissione di picco dei fotoni, l'efficienza nella conversione elettro-ottica e quindi l'intensità luminosa in uscita. I *LED* sono dotati inoltre di reversibilità infatti se la loro giunzione viene esposta direttamente a una forte fonte luminosa o ai raggi solari, ai terminali appare una tensione, dipendente dall'intensità della radiazione ed al colore del *LED* in esame (massima per il blu). Questa caratteristica viene abitualmente sfruttata nella realizzazione di sensori, per sistemi di puntamento o di piccoli impianti a pannelli solari.

I primi *LED* realizzati erano disponibili solo nel colore rosso, venivano utilizzati come indicatori nei circuiti elettronici, nei display a sette segmenti e negli optoisolatori. In seguito vennero sviluppati *LED* che emettevano luce gialla e verde e realizzati dispositivi che integravano due *LED*, generalmente uno rosso e uno verde, nello stesso contenitore permettendo di visualizzare quattro stati (spento, verde, rosso, verde+rosso=giallo). Successivamente vennero ideati *LED* con efficienza sempre più alta fino a quando con la scoperta del *LED* blu fu possibile realizzare dispositivi che integrando i tre *LED* (rosso, verde e blu) generarono qualsiasi colore. I *LED* in questi anni si sono diffusi in tutte le applicazioni in cui serve avere un'elevata affidabilità, lunga durata ed elevata efficienza luminosa, prima fra tutte l'illuminazione.

I *LED* oggi sono sempre più utilizzati in illuminotecnica in sostituzione di alcune sorgenti luminose tradizionali come le lampade ad incandescenza, alogene o fluorescenti compatte, con notevoli risultati. Attraverso nuove tecniche, il rendimento energetico (energia utilizzata convertita in luce /energia consumata per l'impiego) è stato potenziato partendo da un rapporto minimo 1/3. L'unico



limite dei *LED* per questo tipo di applicazione è la quantità di luce emessa (flusso luminoso espresso in lumen) che nei modelli di ultima generazione per uso professionale si attesta intorno a 120lm ma che nei modelli più economici raggiunge i 20 lumen dove una lampadina ad incandescenza da 60w emette un flusso luminoso di circa 550lm. Inoltre i *LED* più luminosi sono ancora quelli a luce fredda con bassa resa cromatica. Il loro utilizzo diventa molto più interessante in ambito professionale dove il rendimento di 40-60 lm/w li rende una sorgente appetibile. Come termine di paragone basti pensare che una lampada ad incandescenza ha rendimenti di 20 lm/w ed una lampada alogena di 25 lm/w ed una fluorescente lineare fino a 104 lm/w. Dal punto di vista applicativo i *LED* sono molto utilizzati quando l'impianto di illuminazione deve presentare le caratteristiche di ridotta dimensione, emissione di colori saturi, effetti dinamici di colore (variazione del colore RGB), lunga durata e robustezza, valorizzazione di forme e volumi.

I vantaggi dei *LED* dal punto di vista illuminotecnico sono:

- durata di funzionamento (*LED* ad alta emissione arrivano a circa 80.000 ore);
- assenza di costi di manutenzione;
- elevato rendimento (se paragonato a lampade ad incandescenza e alogene);
- luce pulita perché priva di componenti IR e UV;
- facilità di realizzazione di ottiche efficienti in plastica;
- flessibilità di installazione del punto luce;
- colori saturi;
- possibilità di un forte effetto spot (sorgente quasi puntiforme);
- funzionamento in sicurezza perché a bassissima tensione (normalmente tra i 3 e i 24 Vdc);
- accensione a freddo (fino a -40°C);
- Insensibilità a umidità e vibrazione; assenza di mercurio.

Perciò che riguarda l'assorbimento, questo è inferiore nei *LED* normali (10-15 mA) rispetto a quelli ad alta luminosità (20-40 mA) e la loro forza commerciale si basa sulla loro potenzialità di ottenere elevata luminosità (quattro volte maggiore delle lampade fluorescenti e a filamento di tungsteno), basso prezzo, elevata efficienza e affidabilità (la durata dei *LED* è di molti ordini di grandezza superiore a quella delle classiche sorgenti luminose, specie in condizioni di stress meccanici). Inoltre non richiedono circuiti di alimentazione complessi, possiedono un'alta velocità di commutazione e la loro tecnologia di costruzione è compatibile con quella dei circuiti integrati al silicio.

I *LED* sono particolarmente interessanti per le loro caratteristiche di elevata efficienza luminosa e di affidabilità. I primi *LED* ad alta efficienza sono stati testati nel 1995, mostrando ottime caratteristiche per dispositivi in AlGaInP/GaAs con contatto trasparente in Indio e Stagno. L'evoluzione dei materiali è stata quindi la chiave per ottenere delle sorgenti luminose che hanno

tutte le caratteristiche per sostituire quasi tutte quelle ad oggi utilizzate. In molti casi il *LED* sono alimentati a corrente continua con una resistenza in serie per limitare la corrente diretta al valore di lavoro, il quale può variare da 5-6 mA fino a 20mA quando è richiesta molta luce. Tale valore dipende anche dalla lunghezza d'onda della luce emessa dal *LED*. La necessità dell'impiego della stessa è giustificata dalla necessità di garantire una lunga durata al dispositivo. Se tale resistenza non ci fosse, un piccolo aumento della corrente di impiego farebbe diminuire il valore della resistenza differenziale del "diodo emettitore di luce". Tali variazioni, se di entità sufficiente, potrebbero innescare un differenziale negativo in quanto la progressiva diminuzione della resistenza del *LED* causerebbe l'aumento della corrente ed un sempre maggiore riscaldamento per effetto joule che porterebbe velocemente il dispositivo a bruciarsi. I normali *LED* di diametro 5mm funzionano ad una tensione pari a circa 2V ed una corrente di lavoro prudenziale di 10-15 mA, fino a 20 mA. Valori superiori di corrente sono in genere sopportati, ma non assicurano un funzionamento duraturo. Per il *LED* di tipo flasch, per i quali la corrente può variare tra i 20 e i 40 mA, i valori minimo e massimo della resistenza sono 250 -500 (valori standard 270 Ohm e 470 Ohm). Qualora un *LED* venga alimentato a corrente alternata deve essere protetto dalla tensione inversa mediante un semplice circuito. Il metodo più semplice è l'impiego di un diodo collegato in configurazione antiparallelo al *LED*, cioè in parallelo al *LED* ma con polarità invertita (per limitare la tensione inversa). Ciò protegge il *LED* durante il ciclo negativo della sinusoide, (si ha il passaggio di corrente attraverso il diodo di protezione) ma non viene emessa luce, dimezzando l'efficienza. La massima quantità di luce che può essere messa da un *LED* è limitata essenzialmente dalla massima corrente media sopportabile, che è determinata dalla massima potenza dissipabile dal chip. Quando sono richiesti valori d'uscita più alti normalmente si tende a non usare correnti continue, ma a usare correnti pulsanti con duty cycle scelto in maniera opportuna. Ciò permette alla corrente e di conseguenza alla luce di essere notevolmente incrementate, mentre la corrente media e la potenza dissipata rimangono nei limiti consentiti.

I *LED* convenzionali sono composti da vari materiali inorganici che producono i seguenti colori:

- |                                                            |                                               |
|------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------|
| – AlGaAs                                                   | – rosso ed infrarosso;                        |
| – GaAlP                                                    | – verde;                                      |
| – GaAsP                                                    | – rosso, rosso-arancione, arancione, giallo;  |
| – GaN                                                      | – verde e blu                                 |
| – ZnSe                                                     | – blu;                                        |
| – InGaN                                                    | – blu-verde, blu;                             |
| – InGaAlP                                                  | – rosso-arancione, arancione, giallo e verde; |
| – SiC come substrato                                       | – blu;                                        |
| – Diamante (C)                                             | – ultravioletto;                              |
| – Silicio (Si) come substrato                              | – blu;                                        |
| – Zaffiro (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ) come substrato | – blu.                                        |

## **UTILIZZO NELL'ILLUMINAZIONE INTERNA ED ESTERNA**

I LED quali elementi e componenti illuminotecnici costituiscono un esempio straordinario di innovazione tecnologica per la loro grande plasticità di impiego. Dal punto di vista delle caratteristiche tecniche possono essere distinti LED decorativi da LED di potenza, nella prima categoria sono compresi tutti i diodi di basse potenze che vengono utilizzati nella maggior parte dei casi per eseguire piccole rappresentazioni luminose (segnapassi, segnagiardini), mentre tra i LED di potenza vi sono quei diodi che, grazie alle loro particolari caratteristiche tecniche, riescono a raggiungere delle emissioni luminose molto importanti che abbinate a lenti concentranti, riescono a sostituire i corpi illuminanti tradizionali. I LED di potenza sono alimentati a corrente costante (350/370mA) ed il loro collegamento avviene in serie. Il driver di alimentazione deve controllare che la corrente fornita ai Led sia sempre adeguata alle caratteristiche del diodo stesso; una tensione troppo elevata, rischierebbe di rompere il LED in pochi secondi, mentre una tensione troppo bassa, determinerebbe una cattiva emissione luminosa. Proprio grazie alle performance che riescono a raggiungere, i LED di potenza interessano molto i progettisti e i light designer. Un'altra suddivisione può esser fatta tra i LED per esterni e i LED per interni; a parte la grande plasticità di forme e dimensioni i LED per esterni si differenziano per una resinatura stagna in grado di portare il grado di protezione alle normative vigenti. Le versioni di maggiore utilizzo negli interni sono quelle a 4 o 6 chip connessi in serie a forma esagonale, con o senza ottiche integrate. La versione a 6 chip è in grado di generare 420lm con una corrente di funzionamento di 700mA. Per gli esterni (parchi, giardini, monumenti, facciate di palazzi, ecc.) molto commercializzati sono i LED ceramici di grande potenza, in grado eventualmente di essere comandati remotamente in modo da seguire il mutare delle stagioni: per sottolineare ad esempio le fioriture oppure i colori dell'autunno sui vegetali. Si tratta di una serie omogenea di apparecchi dotati di differenti e particolari performance luminose, che hanno in comune la particolarità di illuminare ed ombreggiare contemporaneamente. Possono valorizzare gli ambienti verdi naturali e i parchi, basandosi su un sistema di focalizzazione che proietta contemporaneamente ai fasci luminosi ombre, differenti tra loro e a seconda dell'effetto che si vuole ottenere. Con questi LED si può forzare un colore di fioritura accentuando la saturazione del punto di colore del fiore oppure si possono costruire scenografie fortemente innaturali. Ad esempio colorando di blu un albero spoglio durante l'inverno.

## **IMPIEGO NELLA COLTIVAZIONE DELLE PIANTE**

I LED possono rappresentare una valida fonte luminosa per la crescita delle piante e il loro impiego nelle serre come fonte integrativo-sostitutiva dell'illuminazione artificiale tradizionale è in fase di valutazione presso diversi centri di ricerca quali ad esempio l'Hort. Research Center

dell'università Laval in Quebec e l'Horticultural Production Chains Group dell'Università di Wageningen in Olanda. Queste fonti presentano vantaggi dal punto di vista della resa luminosa se rapportate al consumo energetico ma l'intensità emessa, sebbene nei LED di ultima generazione sia fortemente aumentata, spesso non raggiunge la soglia minima sufficiente a garantire un processo fotosintetico utile alla crescita. L'emissione in bande cromatiche ben definite e la produzione di luce totalmente fredda le rende ad esempio particolarmente indicate per l'illuminazione interchioma di colture orticole in verticale in serra. L'uso di LED interchioma a luce blu (455nm) per 12-20 ore al giorno ha incrementato la biomassa e la produzione di frutti in cetriolo, senza comportare l'emissione di germogli laterali, in quanto ha prolungato e incrementato l'assimilazione di CO<sub>2</sub> da parte delle foglie basali determinando una maggior efficienza fotosintetica dell'intera chioma rispetto all'illuminazione con le comuni lampade HPS che devono essere posizionate soprachioma per la loro rilevante emissione nell'infrarosso (Menard et al. 2007). Una particolare caratteristica dell'impiego delle fonti LED nell'illuminazione interchioma sta nel fatto che le piante acclimatate alla loro luce si sono dimostrate in grado di adattare il processo fotosintetico alle basse intensità emesse, utilizzando la luce in modo più efficiente ed uniforme, senza significative differenze tra le foglie in luce e quelle in ombra. Alcuni studi hanno messo in evidenza che le foglie soprachioma, adattate alla luce diretta, sono in grado di riadattarsi in maniera efficace alla luce LED in poche settimane e le foglie sottoesposte, caratterizzate da una bassa efficienza fotosintetica, e soprattutto le foglie più vecchie, effettuano comunque un processo fotosintetico paragonabile a quello che si ha in condizioni di luce filtrata ad illuminazione dall'alto (Hovi et al., 2004). In tali studi è stato inoltre evidenziato che l'illuminazione interchioma è più efficiente rispetto all'illuminazione soprachioma in quanto la luce arriva alla totalità delle foglie della pianta in maniera più uniforme, qualora soprattutto all'illuminazione interchioma sia associato un allevamento a spalliera della pianta (Xu et al., 1997). Comparati ad altre fonti luminose utilizzate nella coltivazione delle piante i led presentano alcune caratteristiche particolarmente interessanti quali il fatto che producendo luce in bande ben specifiche dello spettro possono essere costruiti in maniera da emettere un voluto output di lunghezze d'onda quale quello più favorevole alla crescita delle piante quindi al processo fotosintetico, ed essere inoltre creati dispositivi poliled con diodi a differenti emissioni variando la qualità della luce in funzione delle necessità (Kim et al., 2004). Ad esempio l'impiego del *near far red* (690 nm) favorisce l'incremento dell'area fogliare su foglie in crescita, qualora tale luce venga utilizzata sulla coltura negli stadi precoci del ciclo produttivo (Goins, 2002). È possibile selezionare bande dello spettro in grado di influenzare caratteristiche morfologiche particolarmente importanti per le piante orticolo-ornamentali come la taglia e la ramificazione (es. luce blu ad effetto brachizzante). Un'altra interessante caratteristica dei LED è la resa luminosa, che essendo proporzionale alla corrente elettrica d'alimentazione permette il controllo dell'intensità luminosa che può essere variata durante il ciclo di coltivazione proporzionalmente alla richiesta della coltura. Inoltre possono essere influenzate anche

caratteristiche qualitative in piante utilizzate per l'alimentazione umana quali il contenuto di antiossidanti e polifenoli (Oelmuller et al. 1985).

## **PIANTE A FOGLIAME DECORATIVO PER L'INTERIOR LANDSCAPING**

### **CARATTERISTICHE E FUNZIONI**

Le piante a fogliame decorativo, includono una vastissima gamma di piante dalle origini più differenziate che vengono coltivate per il valore ornamentale delle foglie, piuttosto che per la produzione di fiori, sebbene per molte di esse quest'ultima caratteristica sia comunque presente. Numerose specie di questa categoria possono sopravvivere e svilupparsi all'interno degli ambienti domestici in quanto le loro necessità termiche, legate agli areali di provenienza tropicale e sub-tropicale sono mediamente elevate. Queste piante sono utilizzate come esemplari viventi per la decorazione degli ambienti interni secondo la moderna concezione del termine "*interior plantscaping*".

A partire dai primi stadi di coltivazione, queste piante devono essere correttamente coltivate in ambienti con parametri ambientali ottimali (luce, temperatura, acqua), ed idonei interventi gestionali (fertilizzazione e controllo dei parassiti) fino a che non raggiungono taglie commerciabili per essere definite piante "finite" (Chen et al, 2005). La coltivazione avviene in serre climatizzate ed è seguita dall'acclimatazione, la selezione e la vendita. L'acclimatazione è una procedura molto importante in cui l'intensità luminosa, l'apporto nutritivo e la frequenza dell'irrigazione vengono ridotti in modo da far sì che la pianta sopravviva e perfino prosperi dopo la collocazione in un interno. Piante allevate in vaso possono richiedere alcune settimane per l'acclimatazione, mentre piante grandi a portamento semiarboreo possono richiedere anche sei mesi (Chen et al, 2005).

Per il loro habitus, la morfologia e la struttura fogliare, i colori vivaci e la tolleranza a scarsi livelli di luminosità, queste piante svolgono un ruolo molto importante nell'arredo degli interni e contribuiscono al benessere psicologico dell'uomo ricordando l'ambiente naturale (Manaker, 1997). In più, le piante negli ambienti interni riducono le polveri, fungono da umidificatori naturali e purificano l'aria (Lohr et al. 1996).

Uno studio condotto e finanziato dalla NASA ha concluso che le piante da appartamento possono rimuovere quasi 87% delle sostanze inquinanti dell'aria delle navette spaziali in 24 ore. Per esempio lo *Spathiphyllum* 'Mauna Lòa' ha eliminato 16 mg di formaldeide, 27 mg di tricloruro di etilene e 41mg di benzene in 24 ore (Wolverton et al, 1989). Altre ricerche effettuate in Germania (Institut fur Biochemische Pflanzenpathologie, Oberschleissheim; Giese et al, 1994), in U.S.A. (National Laboratory, Oak Ridge; Cornejo et al. 1999), in Australia (Plants and Environmental Quality Group, University of Technology, Sydney; Wood et al, 2002) e in Giappone (Kanazawa

Seiryō University Laboratory, Kanazawa; Oyabu et al, 2003) hanno confermato che le piante da appartamento possono ridurre i livelli tossici delle sostanze più inquinanti disperse nell'aria degli ambienti interni quali formaldeide, tricloruro di etilene e benzene.

La valorizzazione estetica, il benessere psicologico derivato dall'impiego di queste piante negli ambienti confinati, la purificazione dell'aria sono incentivi per la produzione delle piante a fogliame decorativo e per l'incremento del loro valore.

Con l'aumento dell'urbanizzazione in tutto il mondo e dell'innato desiderio di ricreare ambienti naturali all'interno degli edifici, la produzione e l'utilizzazione delle piante per "interiorscaping" hanno dato origine ad un fiorente mercato globale.

### **ORIGINI E STORIA DELLE PIU' COMUNI SPECIE DA INTERNI**

La maggior parte delle piante a fogliame decorativo sono originarie delle regioni tropicali o subtropicali del mondo. Per alcuni generi gli areali di provenienza possono essere più di uno e trovarsi in continenti diversi. È stimato che tali piante appartengono a più di 100 generi ed almeno 1.000 specie (Chen et al, 2005). I generi più importanti, indigeni dell'Africa tropicale includono *Aloe*, *Asparagus*, *Chlorophytum*, *Chrysalidocarpus*, *Coffea*, *Crassula*, *Cyanotis*, *Dracaena*, *Haworthia*, *Hypoestes*, *Kalanchoe*, *Leea*, *Pandanus*, *Saintpaulia*, *Sansevieria*, *Senecio*, *Strelitzia* e *Zamioculcas*. Sono roriginari dell'Asia *Aeschynanthus*, *Aglaonema*, *Alocasia*, *Aspidistra*, *Asplenium*, *Aucuba*, *Begonia*, *Chlorophytum*, *Codiaeum*, *Coleus*, *Cordyline*, *Epipremnum*, *Fatsia*, *Ficus*, *Gynura*, *Homalomena*, *Hoya*, *Phoenix*, *Pittosporum*, *Polyscias*, *Sansevieria*, e *Schefflera*. La distinzione fra Australia-Oceania e Asia Sud-Orientale è invece difficile. *Araucaria*, *Asplenium*, *Blechnum*, *Cissus*, *Cordyline*, *Dizygotheca*, *Howea*, *Platycerium*, *Polyscias* e *Schefflera* sono originarie dell'Australia-Oceania, mentre dai climi caldo-umidi dell' America del Sud e Centrale provengono *Adiantum*, *Aechmea*, *Anthurium*, *Ananas*, *Aphelandra*, *Billbergia*, *Calathea*, *Chamaedorea*, *Dieffenbachia*, *Episcia*, *Fittonia*, *Guzmania*, *Maranta*, *Monstera*, *Neoregelia*, *Nephrolepis*, *Nidularium*, *Nolina*, *Peperomia*, *Philodendron*, *Pilea*, *Polypodium*, *Ruellia*, *Senecio*, *Spathiphyllum*, *Stromanthe*, *Syngonium*, *Tillandsia*, *Vriesea*, e *Yucca*. Solo poche piante quali *Agave*, *Peperomia*, *Yucca* e certi generi di *Bromeliaceae* e *Cactaceae*, sono indigeni dell'America del Nord. L' *Hedera* è probabilmente l'unico genere a fogliame decorativo originario dell'Europa.

Le piante da appartamento, originarie delle regioni tropicali sono generalmente tolleranti condizioni di scarsa intensità luminosa, sono sensibili alle basse temperature e neutro diurne, mentre le piante che provengono dai climi subtropicali, nei quali le temperature e l'umidità possono variare con le stagioni, tollerano maggiormente temperature più basse, siccità e possono presentare riposo vegetativo invernale. Alcune piante sono poi originarie di zone a climi estremi, quali i deserti, nei quali hanno evoluto meccanismi per adattarsi al calore ed alla siccità; questa categoria è rappresentata prevalentemente dalle piante succulente e dai cactus.

I Sumeri e gli Egiziani hanno cominciato ad allevare le piante in contenitori circa 3.500 anni fa e nella cultura orientale sono noti manoscritti sulla coltivazione delle piante a scopo ornamentale in vaso risalenti a 3.000 - 4.000 anni fa. Tuttavia, non ci sono notizie precise su quando gli esseri umani hanno iniziato ad impiegare piante negli spazi interni da loro abitati. Una teoria probabile può essere che queste venivano inizialmente raccolte come semplice curiosità, per le forme particolari, i colori e la struttura delle foglie. Anche se date certe sull'impiego negli interni non sono chiare, si sa che durante il rinascimento, l'Olanda e il Belgio importavano piante dall'Asia Minore e dalle Indie orientali e verso la fine dello XV° secolo ricchi commercianti di Firenze, Genova e Venezia avevano introdotto in Europa piante dall'Est (Smith et al. 1981). Il desiderio di collezionare piante esotiche si sviluppò presso l'aristocrazia Francese ed Inglese dalla metà del XVI° secolo con le "orangeries" e le "conservatories" strutture che divennero simbolo di nobiltà e status simbol. Nel secolo successivo già 5.000 specie di piante esotiche erano state introdotte in Europa dalle regioni tropicali.

La disponibilità di piante esotiche in grado tollerare l'ambiente tipico delle abitazioni ha promosso l'utilizzo delle stesse negli interni ed ha dato luogo alla coltivazione e commercializzazione delle piante a fogliame decorativo. Durante la seconda metà del diciannovesimo secolo tali piante si sono trasformate in un simbolo della condizione sociale; nei salotti Vittoriani ad esempio, palme e felci venivano impiegate come "materiale di riempimento" e le famiglie d'alto ceto sociale compravano piante da collezione, per i loro privati giardini.

È di quegli anni anche un'intensa attività di miglioramento genetico. Il più vecchio ibrido di dieffenbachia, *D. 'Bausei'*, fu ottenuto per ibridazione fra *D. maculata* e *D. weirii* nel 1870 nelle serre della Società Orticola Reale (RHS) di Londra a Chiswick, mentre *D. 'Memoria-corsii'* è un ibrido fra *D. maculata* e *D. wallisii* risalente al 1881. Entrambi sono ancora coltivati e commercializzati.

## **PRODUZIONE**

La produzione commerciale delle piante a fogliame decorativo in Europa è basata sulla vasta gamma di specie disponibili dal XVII al XIX secolo. La capacità di tali piante di sopravvivere per lunghi periodi negli ambienti confinati ha promosso la loro vasta utilizzazione per l'"interior plantscape". La crescita della domanda di tali piante è stata stimolo per la costruzione di serre commerciali, ha favorito le spedizioni di piante soprattutto dal Centro America e dall'Asia e ha in genere determinato lo sviluppo di attività produttive in paesi extraeuropei. L'UE e in particolare i Paesi Bassi, il Belgio, l'Inghilterra, la Francia, la Germania e l'Italia, sono tuttavia importanti produttori in grado di soddisfare ampiamente il mercato interno. Quasi tutte le piante per l'"interior

plantscaping” vengono prodotte nell'UE e vendute attraverso un grossista o un'asta. Le agenzie di vendita all'asta olandesi giocano un ruolo cruciale nel commercio di queste piante e con la loro concentrazione di domanda e offerta, contribuiscono pesantemente alla definizione dei prezzi. Tra le principali piante dell'UE vendute nelle aste olandesi vi sono *Anthurium*, *Dracaena*, *Ficus*, *Hedera*, *Saintpaulia*, *Phalaenopsis*, *Howea*, così come felci e Bromeliaceae.

## INTERIOR PLANTSCAPING

La destinazione finale di una pianta a fogliame decorativo è l'ambiente interno. Secondo tutta la comunità internazionale, il termine “interior plantscapes” fa riferimento a quegli spazi pubblici commerciali, aeroporti, centri congressuali, ospedali, ingressi di hotel, biblioteche, uffici nei quali vengono adibiti spazi verdi nonché il semplice ambiente domestico familiare. Alcune grandi strutture possono avere ampie piantagioni simili a vere e proprie collezioni botaniche includendo molti generi e specie, mentre le proprietà private residenziali hanno in genere solo una limitata gamma di varietà. È necessario che vengano previsti spazi adeguatamente progettati e precisi piani di gestione affinché la loro vita-sopravvivenza possa perdurare il più lungo possibile. La disponibilità di luce, di nutrienti, di acqua e il controllo dei parassiti rappresentano le condizioni da garantire nell'ordinaria manutenzione del verde da interno. La conoscenza delle caratteristiche pedo-climatiche di ogni specie consente non solo di soddisfare le specifiche esigenze ma anche di permetterne i migliori raggruppamenti al fine di consentire al massimo la permanenza e la crescita. La miglior consociazione dei colori, delle forme e degli habitus fornisce il benessere psico-fisico agli individui che utilizzano queste realtà, riduce i livelli di stress associati agli ambienti fortemente urbanizzati ed inoltre aumenta il valore economico della proprietà. L'attuale tendenza verso l'incremento demografico della popolazione, il cambiamento dei sistemi di trasporto, le innovazioni architettoniche, l'applicazione di nuove tecnologie ai processi di produzione e i fattori economici fanno sì che in molti paesi del mondo, il numero delle persone che vive nelle aree urbane stia aumentando. La Cina, l'India e gli Stati Uniti sono tre esempi di questa tendenza. La crescita dell'urbanizzazione fa sì che la popolazione aumenti in termini di densità e unità abitative raggruppate (appartamenti, complessi residenziali, ecc.). Storicamente, all'incremento dell'urbanizzazione è stato accoppiato un aumento dell'utilizzo delle piante da interno. Di conseguenza, se permane questa tendenza, il mercato mondiale per le piante a fogliame decorativo è destinato ad aumentare. I nuovi criteri architettonici danno infatti maggior risalto al ruolo della pianta e ne prevedono un utilizzo sempre più diffuso, non solo a fini estetici ma anche per il benessere psico-fisico.

La produzione delle piante a fogliame decorativo deve rispondere a questa maggior richiesta e parallelamente fornire piante d'alta qualità, durevoli e particolarmente resistenti a condizioni di scarsa disponibilità idrica e basse intensità luminose. Queste piante possono essere prodotte



grazie alla professionalità di centri di selezione e miglioramento genetico utilizzando tecnologie di ingegneria genetica e/o di ibridazione tradizionale, interagenti tra loro, (Henny et al, 2003). I cambiamenti nella tecnologia di produzione, progredendo rapidamente (es. automazione della serre e dei sistemi di controllo dell'ambientale, irrigazione e fertilizzazione), contribuiscono notevolmente alla riduzione dei costi di produzione e al miglioramento della qualità delle piante finite. L'introduzione recente delle selezionatrici per la classificazione qualitativa delle piante può contribuire a standardizzare i mercati mondiali e alzare il livello qualitativo del prodotto. La maggiore professionalità degli "interiorscapers" aiuta poi nella collocazione delle piante negli interni nelle giuste posizioni sulle basi di nozioni scientifiche per fornire pratiche di gestione ottimali.

## **LE PIANTE DA INTERNO QUALI PURIFICATORI DELL'ARIA**

Le comuni piante d'appartamento possono fornire un'arma importante nella lotta contro l'aumento del livello degli inquinanti comunemente presenti negli interni. La loro funzione in effetti non è solamente decorativa, ma già da tempo è stata ampiamente dimostrata la loro utilità nell'assorbimento di gas potenzialmente nocivi e nella filtrazione dell'aria negli ambienti chiusi. Sin dagli anni '80 gli scienziati della NASA, impegnati in ricerche sugli ambienti confinati delle navicelle spaziali, hanno supposto l'utilità delle piante come "mangiaveleni". Si tratta, in scala ridotta, di un processo analogo a quello che avviene nelle foreste tropicali; le foglie intercettano le sostanze inquinanti che poi vengono convogliate dall'acqua, attraverso il fusto, a terra dove vengono assorbite e immobilizzate dalle radici con il contributo dei batteri edafici. Una dimostrazione di tale processo è rappresentata dalla felce, *Pteris vittata*, che si è accresciuta regolarmente senza mostrare fenomeni di fitossicità anche in una zona contaminata da sali di arsenico. Gli esemplari di questa felce infatti presentavano un incremento dello sviluppo del 40% nonostante nelle foglie fosse presente un'elevatissima concentrazione di arsenico (Zhao. et al. 2002). NASA e ALCA (Associated Landscape Contractors of America) hanno pubblicato i risultati di uno studio di due anni condotto su un sofisticato dispositivo di assorbimento degli inquinanti e la conclusione dell'analisi dei dati ha permesso di asserire che le piante da interno possono essere un rimedio naturale nel combattere la conosciuta "sindrome dell'edificio ammalato". La ricerca sull'uso dei processi biologici come mezzo per risolvere i problemi ambientali, sia sulla terra che in moduli spaziali, è stata effettuata per molti anni intorno alla metà degli anni '80 da Wolverton, al "John C. Stennis Space Center" della NASA, a St. Louis.

Sulla base delle valutazioni preliminari dell'uso delle più comuni piante da interno per la purificazione dell'aria, ALCA ha delegato la NASA a costituire un fondo per uno studio usando circa una dozzina di piante ornamentali delle varietà più comuni per determinare la loro effettiva efficacia nella rimozione delle numerose sostanze inquinanti connesse all'inquinamento dell'aria degli ambienti interni. I risultati hanno confermato l'efficienza di tali piante nell'assorbimento degli

agenti inquinanti atmosferici tanto che alcune sono state utilizzate nello spazio come componente di un sistema biologico di sopravvivenza a bordo delle stazioni orbitanti.

Wolverton evidenzia che le comuni piante da interno possono rimuovere determinate sostanze inquinanti in maniera estremamente efficace tanto da costituire una parte fondamentale del sistema uomo-ambiente interno.

Operativamente ogni tipo di pianta è stato posizionato e sigillato in un contenitore di plexiglass in cui i sono stati iniettati prodotti chimici quali benzene, xilene e formaldeide. *Philodendron erubescens*, *Chlorophytum comosum* e *Potos aureus* sono stati identificati come i più efficaci nella rimozione della formaldeide (Chen et al. 2005). Piante da fiore quali gerbera e crisantemo sono stati identificati come i più efficienti nell'eliminazione del benzene. Altri buoni metabolizzatori degli inquinanti si sono dimostrati *Dracaena massangeana*, *Spathiphyllum wallisii* e *Pothos aureus*. Wolverton afferma che le piante assorbono tali sostanze tossiche volatili attraverso le aperture stomatiche, e che anche le radici ed i batteri presenti nel substrato di coltivazione sono fortemente coinvolti nell'abbattimento delle concentrazioni.

Le dieci piante più efficaci nella rimozione di formaldeide, benzene ed ossido di carbonio presenti nell'aria sono risultate: *Aglaonema modestus*, *Chamaedorea seifritzii*, *Chrysanthemum morifolium*, *Dracaena* 'Janet Craig', *Dracaena marginata*, *Dracaena massangeana*, *Dracaena* 'Warneckii', *Gerbera jamesonii*, *Hedera helix*, *Sansevieria laurentii*, *Spathiphyllum wallisii* 'Mauna Loa'.

Parallelamente, risultati simili sono stati ottenuti anche da ricercatori australiani, che oltre ad individuare esemplari della flora in grado di scomporre chimicamente le sostanze nocive e di svilupparsi velocemente, hanno avuto come obiettivo quello di intervenire con tecniche di ingegneria genetica per aumentare l'efficienza nell'accumulo di metalli e creare così delle piante "superaccumulatrici" (Orwell et al. 2004). L'uso sempre più diffuso di sostanze tossiche volatili nelle nostre case e nei nostri arredi va di pari passo con la necessità di "ripulire" gli ambienti in cui viviamo e lavoriamo e le piante per l'"interioscaping" possono rappresentare un valido aiuto nell'eliminazione delle sostanze volatili tossiche.

## **CONDIZIONI DI LUMINOSITA' NATURALE PER LE PIANTE NEGLI INTERNI**

Negli ambienti confinati fra i fattori ambientali, la luce è quello spesso maggiormente deficitario tanto da rendere necessaria un'illuminazione integrativa per una crescita "sufficiente" e uno sviluppo regolare della pianta. Sono noti gli effetti della luce sui processi di fotosintesi, fotomorfogenesi e fotoperiodismo delle piante, e le interazioni con altri fattori ambientali quali la temperatura, l'umidità relativa e la concentrazione di CO<sub>2</sub> nell'aria e fattori genetici ed agromomici. Per poter calcolare il quantitativo di luce necessaria da apportare è opportuno conoscere sia le esigenze luminose della specie vegetale sia quantificare la luce a disposizione. I livelli ottimali per

le piante da interno sono riportati dalla bibliografia in riferimento alle condizioni di coltivazione in serra ma tali valori quasi mai vengono raggiunti negli ambienti confinati (Tab. 2).

Tab. 2 – Valori di PAR ( $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) in un interno in relazione alla stagione, all'orientamento e alla distanza dalla superficie finestrata (Bedonni 2001).

STAGIONE	ORIENTAMENTO	ESTERNO	1m int.	2m int.	4m int.	6m int
Estate	SUD	143,55	81,20	22,13	12,68	8,27
	NORD	124,80	93,05	26,39	15,39	10,46
	EST	436,67	287,83	36,27	19,95	12,17
	OVEST	87,83	64,95	20,99	12,43	7,61
Primavera	SUD	251,80	106,23	19,36	10,93	8,55
	NORD	120,93	90,15	25,25	14,08	9,43
	EST	288,00	168,60	21,43	12,83	9,91
	OVEST	103,07	74,29	20,72	11,07	8,13
Autunno	SUD	48,54	27,79	10,73	5,37	3,91
	NORD	42,00	28,18	8,17	4,70	3,43
	EST	45,06	26,77	8,06	5,04	3,83
	OVEST	53,26	29,20	7,80	4,45	3,26
Inverno	SUD	12,93	8,47	1,83	1,15	0,86
	NORD	24,72	16,66	4,03	2,59	1,76
	EST	13,61	9,49	1,49	0,95	0,69
	OVEST	19,91	14,32	2,95	1,78	1,30

Un dibattito molto frequente tra i progettisti consiste nello stabilire se il livello di luce artificiale supplementare debba essere tale da consentire una crescita rigogliosa della pianta, come avviene nelle serre, o debba essere appena sufficiente a garantirne esclusivamente la sopravvivenza. L'assenza di una sufficiente intensità luminosa non provoca solamente una crescita rallentata delle foglie ma si ripercuote anche sulla scarsa sintesi di antociani, xantofille e carotenoidi responsabili della pigmentazione e pertanto dell'ornamentalità delle piante. Molte piante a foglia variegata come *Codiaeum*, *Cordiline*, in condizioni di scarsa disponibilità luminosa producono foglie a colorazione prevalentemente verde sintetizzando clorofilla a discapito di antociani e carotenoidi responsabili delle variegature rosse e/o gialle. Per fornire la giusta quantità di luce ad una pianta occorre rilevare il livello di luce del locale in cui si intende creare lo spazio verde e conoscerne la riduzione dell'intensità in ogni zona e alle diverse altezze interessate dalle piante. In generale in un'abitazione la quantità di luce è molto scarsa, a 10 cm di distanza da una finestra esposta a sud le piante ricevono un quantitativo di luce che è dimezzato rispetto a quello all'aperto e ad 1 m ne ricevono solo 1/4. L'intensità luminosa dipende pertanto da fattori connessi alla luminosità esterna quali la latitudine e la stagione ed è influenzata inoltre da fattori specifici quali l'esposizione, il numero e la dimensione delle finestre, e risente della presenza di edifici o alberi nelle vicinanze. A seconda del livello di illuminazione in una stanza si possono identificare quattro posizioni principali: sole diretto; sole indiretto ad una distanza di 1-1.5 m dalla finestra; posizione ombreggiata ad una

distanza di 1,5-2 m da una finestra soleggiata o lungo una parete laterale; posizione con luce scarsa ad una distanza dalla superficie vetrata superiore ai 2 m. (SIA, associazione architetti ed ingegneri). La posizione soleggiata è tipica delle finestre esposte a sud che ricevono il sole per quasi tutto il giorno, mentre quelle ad est lo ricevono al mattino e quelle ad ovest prevalentemente il pomeriggio. Numerose sono le piante adatte a tale zona come *Aralia*, *Guzmania*, *Cordyline* e quasi tutte le piante originarie delle regioni tropicali. La posizione ombreggiata propria delle finestre a nord e di zone che ricevono solo luce diffusa è indicata per piante originarie del sottobosco soprattutto delle regioni tropicali.

L'intensità varia con la latitudine: alle latitudini inferiori, o in prossimità di specchi d'acqua di grandi dimensione con alta riflessione, la luce è più intensa e per questo è necessario predisporre schermi per evitare che le piante subiscano danni. Anche il colore delle pareti è determinante; è maggiore infatti la riflessione della luce da parte delle pareti chiare rispetto a quelle scure.

Un altro fattore da tener presente nella quantificazione dei livelli di luminosità degli interni è anche rappresentato dalla stagionalità. Se si volessero raggiungere i livelli ottimali d'illuminazione raccomandata per la coltivazione in serra (ca.  $40 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ), considerando esclusivamente l'illuminazione naturale, una pianta dovrebbe essere collocata nelle immediate vicinanze delle finestre ma anche in tal caso l'esigenza luminosa sarebbe soddisfatta esclusivamente nel periodo primaverile-estivo, ad una distanza non superiore a 1-1,5 m dalla finestra, indipendentemente dall'orientamento (tabb.2, 3).

Tab.3 - Esigenze luminose (PAR) e illuminazione artificiale integrativa consigliata per la coltivazione delle principali specie a fogliame decorativo (*Philips Lighting, 1978*).

SPECIE	PAR RICHIESTA ( $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ )	TIPO LAMPADA	PERIOD. ILL. ANNUO	DURATA ILLUM. GIORN. (ore)	SCOPO/METODO
<i>Aglaonema commutatum</i>	40	HID NEON	Inverno	16	Miglioramento crescita vegetativa
<i>Anthurium andreaeanum</i>	40	HID NEON	Inverno	16	Miglioramento crescita vegetativa / anticipo fioritura
<i>Asplenium nidus</i>	40	HID	Inverno	16-18	Miglioramento crescita vegetativa / abbreviazione tempo coltura
<i>Begonia rex</i>	45-55	HID NEON	Inverno	16	Miglioramento crescita vegetativa / ritardo fioritura
<i>Calathea louisae</i>	40-50	HID – NEON	Inverno	16	Miglioramento crescita vegetativa
<i>Calathea rufibarba</i>	40-50	HID – NEON	Inverno	16	Miglioramento crescita vegetativa
<i>Calathea veitchiana</i>	40-50	HID – NEON	Inverno	16	Miglioramento crescita vegetativa
<i>Calathea zebrina</i>	40-50	HID – NEON	Inverno	16	Miglioramento crescita vegetativa
<i>Codiaeum variegatum</i>	40-50	HID	inverno	16	Miglioramento crescita vegetativa
<i>Ctenanthe oppenheimiana</i>	40-50	HID	Inverno	16	Miglioramento crescita vegetativa
<i>Dieffenbachia picta</i>	40	HID – NEON	Inverno	16	Miglioramento crescita vegetativa
<i>Epipremnum pinnatum</i>	40	HID – NEON	Inverno	16	Miglioramento crescita vegetativa
<i>Ficus benjamina</i>	50-60	HID	Inverno	16	Miglioramento crescita vegetativa
<i>Ficus elastica</i>	50-60	HID	Inverno	16	Miglioramento crescita vegetativa
<i>Ficus longifolia</i>	50-60	HID	Inverno	16	Miglioramento crescita vegetativa
<i>Fittonia verschaffeltii</i>	60	HID – INC.	Inverno	16	Miglioramento crescita vegetativa
<i>Iresine herbistii</i>	60	HID – INC.	Sett.-Apr.	16	Miglioramento crescita vegetativa
<i>Philodendron erubescens</i>	40	HID – NEON	Inverno	16	Miglioramento crescita vegetativa
<i>Potos aureus</i>	40-50	HID – NEON	Inverno	16	Miglioramento crescita vegetativa
<i>Spathiphyllum wallisi</i>	40	HID	Inverno	16	Miglioramento crescita vegetativa / anticipo fioritura
<i>Syngonium podophyllum</i>	40-50	HID	Inverno	16	Miglioramento crescita vegetativa

## **NECESSITA' LUMINOSE PER LE PIANTE DA INTERIOR PLANSCLAPING**

L'assorbimento della luce per le piante è possibile grazie alla presenza dei pigmenti fotosintetici, che per la natura chimica della loro molecola hanno la capacità di assorbire la luce catalizzando il processo di fotosintesi. Nelle piante questi pigmenti, clorofilla e carotenoidi assorbono prevalentemente la luce alle lunghezze d'onda del visibile e sono specializzati nel captare una ben specifica gamma di lunghezze d'onda coprendo lo spettro luminoso tra i 400 e i 700nm. La clorofilla b infatti, che si differenzia da quella a solo per la presenza di un gruppo aldeidico  $\text{H-C=O}$  anziché metilico  $\text{CH}_3$  legato al carbonio 3 dell'anello II, ha una caratteristica spettrale ben diversa. Entrambe pur avendo valori massimi di assorbimento nelle zone del blu e del rosso presentano picchi sfalsati di 20 nm. L'entità dell'assorbimento di luce di queste molecole che è calcolato come logaritmo del rapporto tra la luce incidente e la luce riflessa è comunque diverso a seconda che ci si trovi in condizioni in vitro o in vivo, dove in questo ultimo caso i massimi di assorbimento nelle zone del blu e del rosso sono fortemente appiattiti e spostati verso lunghezze d'onda maggiori. Questo fatto è dovuto non solo all'assorbimento globale di tutti i pigmenti presenti, ma anche all'interazione tra i pigmenti e le proteine di membrana che determinano modificazioni nelle caratteristiche spettrali del pigmento. Lo spettro di assorbimento in vivo è influenzato non solo dai quantitativi di clorofilla a e b contenuti nei tessuti fogliari dove generalmente la clorofilla a è presente in quantità tre volte superiori alla clorofilla b, ma anche dall'interazione delle clorofille con i carotenoidi. I carotenoidi presentano larghi picchi di assorbimento nella regione dello spettro che va dai 450 ai 480 nm ed operano da pigmenti accessori estendendo l'assorbimento della radiazione a zone spettrali non adeguatamente coperte dalle clorofilla trasmettendogli per risonanza l'energia assorbita.

Considerando l'assorbanza delle clorofilla a e b, i più importanti pigmenti coinvolti nel processo fotosintetico, le fonti da utilizzare per l'illuminazione artificiale al fine di un incremento della assimilazione di  $\text{CO}_2$ , devono essere caratterizzate da uno spettro di emissione compreso tra 400-700nm (PAR) con massimi in corrispondenza delle lunghezze d'onda di 400-500 e 600-700nm e soddisfare le necessità luminose dei vari tipi di piante impiegate. Tali necessità luminose differiscono a seconda delle specie dove alcune piante richiedono alti livelli di PAR ed altre livelli medio-bassi. Per stimare la richiesta ottimale di luce per ogni singola specie devono essere considerati, sulla curva di assimilazione netta in risposta all'incremento dell'intensità luminosa, il punto di compensazione, che rappresenta quel valore dove fotosintesi netta e respirazione si eguagliano e il punto di saturazione, che identifica la PAR oltre la quale non si ha più un incremento della fotosintesi netta. Il punto di compensazione varia per ogni specie e genere, è generalmente basso per specie che provengono da luoghi ombreggiati (sottobosco) ed alto per piante che provengono da condizioni naturali in cui crescono in pieno sole. Un incremento in PAR oltre il punto di saturazione comporta invece danni da fotoossidazione e bruciature fogliari. Piante

a foglia decorativa come Shefflera, crescono in condizioni naturali con buone disponibilità luminose ( $800-1000 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  PAR) ma una volta che sono state condizionate a basse disponibilità luminose come avviene qualora vengano utilizzate per gli interni non possono più essere esposte nuovamente ad alti livelli di luce senza che questi comportino severi danneggiamenti delle foglie. Questo tipico comportamento di adattamento a bassi livelli di PAR è caratteristico di molte piante a fogliame decorativo impiegate nell'“interior plantscape” dove invece in condizioni naturali possono sopportare tranquillamente il sole diretto come Ficus, Cordiline, Croton. In condizioni di PAR troppo basse le piante sviluppano steli molto lunghi incapaci di sostegno per la scarsa lignificazione dei tessuti, la distanza tra gli internodi si accresce e le foglie presentano superfici inferiori. Negli interni le piante sono poi soggette ad una illuminazione orientata generalmente sia per l'illuminazione laterale proveniente dalle finestre che per una possibile collocazione del punto luce sulle pareti laterali, l'effetto che provoca tale illuminazione su esse noto come fototropismo è responsabile di un accrescimento non equilibrato degli steli e un incurvatura della pianta.

Dalle suddette considerazioni il corretto posizionamento del punto luce e la scelta di una lampada con PAR adeguata sono di fondamentale importanza per il benessere delle piante negli interni

Per quanto riguarda la resa in PAR, alcune comuni lampade come i neon da 36W, hanno una buona efficienza mentre altre come quelle ad incandescenza da 100W presentano efficienze decisamente inferiori (Tab. 4). Altre lampade come i LED bianchi di ultima generazione a spettro pulito sono oggi in via di valutazione come fonti sostitutive le tradizionali lampade per la coltivazione emettendo uno spettro senza disturbi, avendo una resa luminosa molto alta e consumi estremamente bassi.

A questa considerazione va aggiunta che la forte riduzione dell'intensità della luce a seconda della distanza dalla fonte luminosa, comporterebbe un posizionamento della lampada nelle immediate vicinanze della pianta, dove in alcuni casi già a 15 cm di distanza della lampada la PAR è ridotta al 50%.

Bisogna però considerare anche il tipo di spettro emesso, che se ricco delle lunghezze d'onda del termico (lampada ad incandescenza) non consente il posizionamento della fonte nelle immediate vicinanze della pianta senza provocare bruciature. Le fonti LED in questo caso emettendo luce totalmente fredda possono addirittura essere posizionate direttamente a contatto del vegetale.

Altri fattori da considerare nella valutazione delle sorgenti luminose indoor per le piante sono la distribuzione spaziale della luce, le dimensioni dell'ambiente illuminato e non in ultimo le esigenze della specie di pianta.

Tab. 4 – riduzione dei valori rilevati della PAR con sensore PAR LIXT in funzione della distanza dalla fonte luminosa. (dato non pubblicato).

RIDUZIONE PAR IN FUNZIONE DELLA DISTANZA (CM)/ TIPO DI LAMPADA	INC. 100W	NEON 36W	LED BLU 15W	LED ROSSO 15 W	LED BIANCO 15 W
A contatto	230	503	163	321	550
5	99	203	94	92	96
10	50	149	53	46	63
15	36	49	22	35	45
30	13	8	14	16	12
40	6	1	4	5	6
50	1	/	1	1	1

## APPLICAZIONI

La luce artificiale nella progettazione degli interni deve soddisfare i seguenti requisiti:

- integrare o sostituire la luce naturale;
- aumentare il tempo di illuminazione;

Procedendo a latitudini superiori al 45° a Nord e a Sud dell'equatore, la durata media illuminazione è insufficiente e i giorni corti durante buona parte dell'anno. In tali aree la crescita delle piante è limitata per lunghi periodi anche nelle serre e a maggior ragione negli interni si rende necessario all'impiego di illuminazione integrativa. Il quantitativo di luce artificiale può essere fornito sia come alto livello di densità di flusso radiante per un breve periodo sia con un livello più basso ma per periodi prolungati. Questa ultima modalità è la migliore in quanto si accosta di più alle condizioni naturali di origine della maggior parte delle piante a fogliame ornamentale coltivate negli interni. Nelle colture in serra livelli ottimali di irradiazione per la fotosintesi sarebbero compresi tra i 5 e i 20 W/m<sup>2</sup> il che richiederebbe l'impiego di lampade a scarica ad alta intensità, ma ciò determinerebbe fastidio visivo all'occhio umano (PHILIPS – l'illuminazione artificiale in orticoltura). Pertanto nella costruzione di spazi verdi per gli interni si adottano soluzioni intermedie. Ad esempio nella progettazione di uno spazio verde di una certa dimensione per un centro commerciale, una banca o strutture simili si possono alternare nel funzionamento lampade ad effetto visivo durante le ore di permanenza delle persone nei locali a lampade per piante nelle ore di chiusura.

Qualora l'illuminazione dello spazio verde sia totalmente sostitutiva dell'illuminazione naturale le piante utilizzate in tali spazi devono soddisfare le seguenti caratteristiche:



- richiedere solamente un basso livello di densità di flusso radiante in condizione naturale;
- richiedere una temperatura relativamente elevata;
- presentare una crescita continua.

Un'ulteriore caratteristica della luce artificiale deve essere la resa cromatica. Il colore della luce svolge infatti per gli ambienti interni un ruolo decorativo apprezzato dall'occhio umano, pertanto la composizione spettrale non deve soltanto uniformarsi alla curva di sensibilità della pianta ma anche evidenziare il colore della foglia e dei fiori esclusivamente per le esigenze visive.

### ***APPARECCHI DI ILLUMINAZIONE E INSTALLAZIONI INDOOR PER GLI SPAZI VERDI***

L'illuminazione decorativa delle piante assume sempre più spesso la forma di illuminazione d'effetto, ricorrendo ad apparecchi d'illuminazione a fonti di luce concentrata, che garantiscono ai vegetali un'intensità luminosa integrativa o sostitutiva la luce naturale. Sebbene queste realizzazioni possano essere estremamente eterogenee nelle forme e con dimensioni molto diversificate, andando da piccoli spazi verdi che sostituiscono una lampada appesa al soffitto a vere e proprie pareti verdi nelle quali i vegetali coprono integralmente i muri, le caratteristiche che le accomunano sono:

- presenza della pianta come soggetto principale;
- presenza del punto luce ad effetto decorativo per l'interno e di sopravvivenza per la pianta.

Il mercato e il design moderno per gli interni offrono oggi una vastissima gamma di soluzioni e realizzazioni per l'installazione indoor delle fonti luminose per le piante sia come singole lampade sia come moduli nei quali la pianta, la lampada e il supporto possono diventare una cosa univoca e non più scindibile una volta posizionate.

Alla fiera HauteGreen 2007 di Manhattan sul tema risparmio energetico e ottimizzazione dello spazio con funzionalità multiple, sono stati proposti piccoli ecosistemi di briofite ricreati all'interno del modulo luminoso (fig. 1 appendice).

Alcune ditte di light-green-design propongono attualmente moduli verdi sostitutivi i tradizionali punti luce delle abitazioni rappresentati da spazi verdi che integrano al loro interno il punto luce con finalità di illuminazione soffusa dell'ambiente ed illuminazione diretta delle piante (fig 2 appendice).

Il botanico Patrick Blanc è ormai molto conosciuto per la realizzazione di pareti verdi all'interno degli edifici nei quali i punti luce vengono orientati sulla parete in funzione delle esigenze dei vegetali considerandoli materiali architettonici che possono rappresentare il punto focale in un interno. Queste pareti verdi possono essere anche di grandi dimensioni ed essere realizzate anche in grandi centri commerciali, di rappresentanza e saloni di vario genere (fig 3 appendice).

## **RISPOSTA DELLE PIANTE ALLA DURATA E ALL'INTENSITA' DELLA LUCE NELL'OTTICA DELLA PROGETTAZIONE DELL' "INTERIOR PLANTSCAPE"**

Le piante da interni a fogliame decorativo provengono prevalentemente dai sottoboschi delle foreste tropicali e subtropicali dove la struttura stratificata verticale delle chiome di alberi a maggiore dimensione determina non soltanto una forte riduzione luminosa ma anche una diversa dinamica d'illuminazione dei piani basali. Questi ambienti sono caratterizzati dalla penetrazione di macchie di luce di intensità e durata variabili comunemente note come "sunflecks" a loro volta determinate dalla posizione del sole nel cielo e dalla movimentazione delle chiome delle piante dominanti. Tali condizioni hanno permesso a queste specie di sottobosco sì un adattamento ad una bassa disponibilità luminosa nell'arco di tutta la giornata, ma anche del beneficiare al massimo dei brevi periodi di luce più intensa che possono giungere nel sottobosco modificando considerevolmente la dinamica di assimilazione del carbonio.

Ad esempio uno studio effettuato su *Alocasia macrorrhiza* una tipica pianta del sottobosco della foresta pluviale ha evidenziato che l'efficienza fotosintetica è aumentata durante l'esposizione a cinque serie di lightflecks della durata di 30 e 60 secondi rispettivamente, dopo che tali interventi hanno seguito un periodo di scarsa disponibilità luminosa per l'intera pianta. Questi risultati indicano che, in specie tolleranti condizioni di bassa luce ambientale, il guadagno netto del carbonio durante i sunflecks può superare i valori previsti dai tassi di assimilazione di CO<sub>2</sub> in condizioni di disponibilità luminosa più elevata e costante durante l'arco di un'intera giornata (Kirschbaum et al. 1988).

Il rinnovamento di *Dipterocarpus*, un'altra pianta tipica delle foreste tropicali avviene comunemente in condizioni di scarsa disponibilità luminosa in quanto i giovani semenzali sono fortemente limitati nello sviluppo dalle piante dominanti i piani superiori della foresta. Uno studio eseguito sui semenzali di questa specie ha evidenziato che il processo fotosintetico durante i sunflecks può subire un incremento dal 10 al 90% in termini di fissazione quotidiana di carbonio e che i semenzali soggetti ad una disponibilità luminosa ambientale inferiore ma sottoposti a sunflecks di durata maggiore e maggiori PPFD (Photosynthetic Photon Flux Density) presentano maggiori tassi di accrescimento rispetto a quelli accresciuti con disponibilità luminose ambientali uniformemente più elevate. (Lakey et al. 2005)

Un altro studio eseguito su *Euphorbia Forbesii* (tipica del sottobosco poco luminoso) e *Claoxylon sandwicensis* (tipica del sottobosco più assolato) entrambe appartenenti alle foreste tropicali hawaiane a metabolismo C<sub>4</sub> e C<sub>3</sub> rispettivamente, ha evidenziato che l'attività fotosintetica durante i sunflecks rappresenta una grande frazione nella fotosintesi netta complessiva giornaliera raggiungendo per *Euphorbia* valori assimilabili a quelli di *Claoxylon* accresciutasi però in ambienti più freschi e meno assolati della foresta. Tali risultati mettono quindi in rilievo l'influenza del

condizionamento della pianta alla luce disponibile e la reattività nella risposta agli interventi di illuminazione. (Pearcy et al. 1985).

È stato inoltre verificato in altre otto specie della foresta pluviale tropicale tolleranti basse luminosità la reazione all'induzione fotosintetica massima utilizzando luce artificiale per riprodurre i sunflecks. Per queste specie caratterizzate inoltre da una diversa persistenza della foglia sulla pianta si è potuto notare anche il contributo dell'età della foglia come reattività agli interventi di illuminazione modulata dei sunflecks, dove foglie più vecchie presentano una minor capacità di reazione. Intervallando periodi di illuminazione a differenti intensità la fotosintesi massima ha raggiunto in tutte le specie in 1-3 minuti il 50% della fissazione massima. Il fatto che concentrazioni elevate di CO<sub>2</sub> non abbiano influenzato l'induzione fotosintetica massima anche in foglie più vecchie suggerisce che tale induzione non sia collegabile ad una limitazione stomatica. Nelle specie con foglie di durata limitata (inferiori all'anno) si è avuta un'induzione al 90% di Amax nel giro di 3-6 minuti, all'opposto le specie con foglie a lunga persistenza sulla pianta (< 4anni) hanno raggiunto la stessa percentuale dopo 11-36 minuti. In queste specie meno reattive con foglie di durata superiore il ritardo nei tempi di reazione sembrerebbe condizionato nella più lenta attivazione della rubisco (Kursar et al. 1993).

Alla luce di questi studi, considerando che le piante da appartamento per natura specie particolarmente adattate a condizioni di scarsa illuminazione, che beneficiano dei lightflecks e che negli interni sono assoggettate a lunghi condizionamenti a basse disponibilità luminose, sarebbe interessante verificare se la realizzazione di punti luce appositamente progettati per gli spazi verdi interni possano essere, a fronte anche della riduzione dei consumi energetici, non solo opportunamente posizionati rispetto alla pianta ma possano anche erogare intervalli di illuminazione riproducibili i sunflecks, per aumentare il più possibile il processo fotosintetico riducendo nel contempo i costi di illuminazione.

## **EFFETTI DELLO SPETTRO LUMINOSO SULLE PIANTE NELL'OTTICA DELLA PROGETTAZIONE DELL'INTERIOR PLANTSCAPE".**

Il ruolo della qualità della luce sulla fisio-morfologia delle piante è di ben nota importanza e numerosissimi sono gli studi che sono stati eseguiti in questo settore. Se si considera che lo spettro luminoso interferisce non solo sulla pianta nel suo insieme, ma anche nei singoli organi come la foglia e il fiore è facile intuire come per una pianta da interior plantscaping, coltivata principalmente per il grado di ornamentalità della foglia e per la colorazione del fiore, sia importantissimo un opportuno spettro luminoso nell'ambito della coltivazione e nella sistemazione negli interni.

Sulla pianta la qualità spettrale interferisce sull'accumulo di antocianine nei tessuti, responsabili della colorazione delle maculature fogliari (Miller. 1964). UVA e luce blu sono responsabili del

controllo dell'espressione del gene *chs* in foglie di *Arabidopsis* dalla quale trae origine la sintesi dei fondamentali pigmenti responsabili della colorazione dovuta ad antociani (Zhou et al. 2005), (Christie and Jekins 1996). Luce bianca abbinata alla rossa inducono sintesi ed accumulo di antocianine in ipocotile di melanzana e semenzali di pomodoro (Moscovici et al. 1996).

Alcuni tipi di radiazione come quella ultravioletta a lunghezza d'onda di 280-320 nm, se accompagnate da basse temperature ambientali possono determinare l'annerimento dei petali di rose di cultivar rossa causandone un considerevole deprezzamento commerciale (Raviv 1989). In *Sainpaulia*, una pianta comunemente coltivata per gli interni, i tassi di accrescimento possono essere accelerati e la fioritura notevolmente anticipata interferendo sullo spettro luminoso con coperture fotoselettive rosse (Raviv 1989). In *Chrysanthemum morifolium* l'impiego di luce blu in fase di coltivazione tramite modificazione dello spettro luminoso con film plastico fotoselettivo ha determinato una riduzione della taglia della pianta e una maggior colorazione dei fiori (Oyaert et al. 1998), (Khattak et al. 1997); gli stessi risultati si sono ottenuti anche in *Anthrrium majis* (Khattak et al. 2005). La modificazione dello spettro di illuminazione in termini di frazione rossa/blu tramite fonti led è stata studiata anche nella micropropagazione in vitro di *Spathiphyllum wallisii* dove si è potuto evidenziare che, impiegando una radiazione led 80% rossa + 20% blu in riferimento ad un controllo sotto tradizionali lampade incandescenti grow lux emettenti  $45 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  PPF per 60 giorni, sotto l'illuminazione led si sono ottenuti maggiori pesi freschi della radice e minori tempi di accrescimento delle plantule mettendo in risalto la convenienza dell'impiego di tale tipo di modificazione dello spettro luminoso durante la fase di coltivazione (Tan Nhut D. et al. 2005).

Altri studi hanno analizzato il controllo dei meccanismi di morfogenesi e fioritura variando il rapporto red e red/far red negli interventi di illuminazione in altre specie come *Gardenia jasminoides* (Lychas 2004), in *Matthiola incana* (Hisamatsu 2001), in *Campanula isophylla* (Moe et al. 1990), in *Chrysanthemum morifolium* (Rajapakse et al. 1992), in *Petunia hybrida* (Kubota et al. 2000), in *Lilium asiatic* ibrid (Blom et al. 1995).

A fronte di una bibliografia molto vasta sulla risposta morfo-fisiologia alla modificazione dello spettro luminoso sulle piante ornamentali da esterno, per le piante da interiorscaping a fogliame decorativo esistono ancora grandissime lacune. Gli studi eseguiti fino ad ora hanno analizzato questa risposta prevalentemente su piante di interesse agrario e per fiore reciso impiegando particolari lampade ad emissione selezionata o film plastici fotoselettivi. A seguito del moderno e sempre più ampio utilizzo di lampade a luce colorata negli interni a scopo decorativo, sarebbe invece anche interessante verificare come le piante ambientate per lunghi periodi indoor possano essere influenzate morfo-fisiologicamente (accrescimento, mantenimento della colorazione della foglia e dei fiori, ecc.) da queste luci colorate e se con alcune di esse possano essere mantenute il più a lungo possibile le migliori caratteristiche di ornamentalità.

# PARTE SPERIMENTALE

## SCOPO DELLO STUDIO

I principali fattori ambientali, limitanti la sopravvivenza e la crescita delle piante impiegate per l'indoor plantscaping, tralasciando quelli agronomici, sono la disponibilità luminosa, la concentrazione di anidride carbonica e l'umidità atmosferica che possono essere molto diversi da quelli riscontrati all'esterno e durante la fase di coltivazione.

Il seguente studio intende focalizzarsi in maniera particolare sul fattore luminoso. La bibliografia in riferimento all'esigenza di luce delle piante da interno (intensità e spettro), durata del periodo di illuminazione, modalità di illuminazione (dall'alto, interchioma, dal basso) è ancora piena di lacune, poichè non esiste uno specifico studio che possa riportare il comportamento fotosintetico di queste piante in relazione alla luce presente negli interni.

I dati per alcune specie maggiormente coltivate si riferiscono alle condizioni ottimali di coltivazione sotto lampade ad alta efficienza in coltivazione in serra, ma ben poco si conosce sul condizionamento del processo fotosintetico a basse disponibilità luminose per periodi prolungati.

La ricerca intende caratterizzare le principali specie da interno verificando la loro risposta fotosintetica all'intensità, alla durata e alla qualità della radiazione luminosa fornita da sorgenti artificiali. In relazione al fatto che la concentrazione di anidride carbonica negli spazi chiusi è superiore a quella atmosferica in funzione della durata di permanenza e del numero di occupanti, lo studio intende anche verificare l'influenza dei due fattori sul processo fotosintetico in diverse specie. Considerando i tempi di illuminazione comunemente presenti negli interni ad uso ufficio e commerciali di 8 ore si vuole poi verificare l'adattamento del processo fotosintetico a questa durata di illuminazione e stabilire se e come possa essere più vantaggiosamente gestita la durata di illuminazione per lo spazio verde in riguardo al risparmio energetico.

Lo studio intende inoltre determinare se fonti *LED* ampiamente impiegate nella illuminazione decorativa degli interni possano essere solo un supplemento o rappresentare una valida alternativa alle lampade tradizionali. Parallelamente si vogliono accertare gli effetti di diversi rapporti radiazione rossa/radiazione blu sulla fisio-morfologia della pianta con particolare riguardo all'efficienza fotosintetica.

Lo schema di lavoro svolto è così articolato:

- **1) - CARATTERIZZAZIONE DELLA RISPOSTA FOTOSINTETICA ALLA INTENSITA' LUMINOSA DELLE PRINCIPALI SPECIE DI PIANTE COLTIVATE PER GLI INTERNI;**

- 2) - INFLUENZA DELLA CONCENTRAZIONE DI CO<sub>2</sub> E DELLA INTENSITA' LUMINOSA SUL PROCESSO FOTOSINTETICO DI ALCUNE DELLE PRINCIPALI SPECIE COLTIVATE PER GLI INTERNI.
- 3) - ANDAMENTO DELL'ATTIVITA' FOTOSINTETICA A PAR COSTANTE E VARIABILE (IN *Ficus elastica* E *Dieffenbachia picta*);
- 4) - RISPOSTA MORFO-FISIOLOGICA E FOTOSINTETICA A MODIFICAZIONI DELLO SPETTRO LUMINOSO MEDIANTE L'USO DI LED AD EMISSIONE NEL BIANCO, BLU O ROSSO (IN *Ficus benjamina* E *Iresine herbisti*);

E' stata fatta inoltre una caratterizzazione della luminosità naturale in interni adibiti ad ufficio con superfici finestate orientate nei quattro punti cardinali e la valutazione dell'intensità della luce nel range 400-700nm, al variare della distanza, di lampade neon 36W, incandescenza 100W, incandescenza 80W, NaHP 400W, led bianco 15W (Tab. 5 e Tab. 6).

Tab. 5 – PAR rilevate durante la stagione autunnale (Ottobre 2008 ore 12:00) in un interno adibito ad ufficio con superfici finestate orientate nei quattro punti cardinali e riduzione percentuale dell'intensità luminosa .

Posizione m.	Sud $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$	Rid. %	Nord $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$	Rid. %	Est $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$	Rid. %	Ovest $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$	Rid. %	Media $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$
Esterno	472	0	143	0	750	0	233	0	399,5
Interno vet.	223	52,7	56	60,8	216	71,2	78	66,5	143,2
0,5 m*	198	58,0	52	63,6	116	84,5	58	75,1	106,0
1,0 m	56	88,1	25	82,5	35	95,3	35	84,9	37,7
1,5 m	26	94,4	20	86,0	30	96,0	12	94,8	22,0
2,0 m	15	96,8	9	93,7	18	97,6	7	97,0	12,2
2,5 m	10	97,8	7	95,1	9	98,8	5	97,8	7,7
3,0 m	5	98,9	4	97,2	6	99,2	3	98,7	4,5
4,0 m	3	99,3	4	97,2	4	99,4	2	99,1	3,2
5,0 m	2	99,5	2	98,6	2	99,7	1	99,5	1,7

\* distanza dal vetro ad altezza di 1,20 m.

Tab. 6 – *PAR* rilevate al variare della distanza, per lampade neon 36W, incandescenza 100W, incandescenza 80W, NaHP 400W, led bianco 15W perpendicolarmente al cono di illuminazione .

Distanza (cm)										
/PAR rilev. Per										
tipo lampada	NEON	Rid.	INCAND.	Rid. %	INCAND.	Rid. %	NAHP	Rid. %	LED	
( $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ )	36W	%	100W		80W		400W		BIANCO	Rid. %
									15W	
contatto	164	0	455	0	378	0	1821	0	68	0
5 cm	120	26,8	406	10,7	310	17,9	1353	25,7	42	38,2
10 cm	86	47,5	250	45,0	209	44,7	1105	39,3	29	57,3
15 cm	47	71,3	176	61,3	164	56,6	850	53,3	20	70,5
20 cm	20	87,8	135	70,3	120	68,2	647	64,4	10	85,2
25 cm	7	95,7	80	82,4	47	87,5	497	72,7	6	91,1
30 cm	2	98,7	3	99,3	7	98,1	392	78,4	2	97,0
50 cm	/	100	1	99,7	2	99,	214	88,2	/	100

## PRINCIPALI CARATTERISTICHE MORFOLOGICHE ED ESIGENZE AMBIENTALI DELLE SPECIE ANALIZZATE

Sono state scelte 21 specie tra le più rappresentative di quelle comunemente coltivate per gli interni che presentano le seguenti caratteristiche:

### ***Aglaonema commutatum***

**Nome comune:** Aglaonema.

**Genere:** Aglaonema.

**Famiglia:** Araceae.

**Provenienza:** Zone tropicali dell' Asia sud-orientale (dall'India alle Filippine alla Cina).

**Descrizione genere:** Comprende circa 50 specie di piante da serra e appartamento perenni e sempreverdi. Sono quasi tutte piante di piccole dimensioni (15 cm circa di altezza e 20-30 cm circa di larghezza), ad eccezione dell'*A. oblongifolium* e *commutatum* che raggiungono 1 m. di altezza. Presentano foglie con lunghi piccioli guainanti alla base e a margine intero, spesso variegata e di forma ovale, oblunga o lanceolata. Tutte le specie accestiscono facilmente grazie alla presenza di polloni basali. Le infiorescenze, caratteristiche della famiglia, sono costituite da uno spatice che porta i fiorellini uni o bisessuali, avvolti, più o meno, da una brattea detta spatula. Possono essere di colore biancastro o verdastro e non hanno valore decorativo, a parte in alcune specie in cui la fioritura è seguita dalla comparsa di bacche rosse o gialle.

**Descrizione specie:** Originaria delle Filippine e della Malacca, può raggiungere anche un metro e più di altezza, accestisce facilmente. Le foglie sono lanceolate, di colore verde scuro con strisce

variegata in grigio-argenteo che si dispongono lungo le nervature secondarie. L'epidermide delle foglie è liscia e coriacea. Le infiorescenze sono costituite da uno spadice biancastro avvolto in parte da una spatula bianco-crema lunga 3 cm circa. Spesso la fioritura è seguita dalla comparsa di bacche rosse o gialle decorative.

**Esigenze di temperatura, luce e umidità ambientale.**

**Temperatura:** La temperatura minima invernale sopportata si aggira intorno ai 13-16°C. In estate occorre ventilare l'ambiente quando la temperatura supera i 21°C.

**Luce:** Tollera anche ambienti moderatamente luminosi. Le specie con foglie variegata richiedono luce più intensa per mantenere i colori che altrimenti si uniformeranno con perdita dell'effetto screziato.

**Annaffiature e umidità ambientale:** Abbondanti in estate; ridotte e distanziate in inverno, per dare alla pianta un periodo di riposo vegetativo.

***Anthurium andreanum***

**Nome comune:** Anturio.

**Genere:** Anthurium.

**Famiglia:** Araceae.

**Provenienza:** Foreste tropicali e ombrofile dell'America Centrale e del Sud.

**Descrizione genere:** Comprende circa 550 specie di piante sempreverdi, epifite o terrestri, da serra e appartamento, prevalentemente erbacee e coltivate sia per la bellezza della spatula variamente colorata che per la particolarità delle foglie, che possono essere lobate, intere o profondamente settate, di forma palmata o lanceolata, con lamina coriacea o vellutata e, addirittura, corrugata tra le venature depresse. Presentano radici carnose, che soffrono molto dei ristagni di umidità.

**Descrizione specie:** Originaria della Colombia, raggiunge 45 cm di altezza. Presenta foglie cuoriformi di un colore verde scuro, che raggiungono i 25 cm di lunghezza. Da maggio a settembre produce infiorescenze costituite da uno spatice cilindrico bianco-giallastro con alla base una spatula (lunga fino a 12 cm e larga fino a 7cm.) cerosa e di colore cremisi o corallo.

**Esigenze di temperatura, luce e umidità ambientale.**

**Temperatura:** La temperatura ottimale è di 16°C, mentre la minima invernale non deve essere inferiore a 13°C. Gli sbalzi termici improvvisi sono molto temuti. Alcune specie, se tenute alla temperatura costante di 24-27 °C, presentano fioritura ininterrotta.

**Luce:** Tollera luce abbastanza moderata e non tollera il sole diretto.

**Annaffiature e umidità ambientale:** Abbondanti in estate, regolari in inverno, facendo attenzione ad evitare che l'acqua ristagni in fondo al vaso. L'umidità atmosferica deve essere elevata.



### ***Asplenium nidus***

**Nome comune:** Asplenio.

**Genere:** Asplenium.

**Famiglia:** Polipodiaceae o Aspleniaceae.

**Provenienza:** Foreste tropicali comprese tra India, Giappone, Australia.

**Descrizione genere:** Comprende circa 600 specie, che crescono spontaneamente, per la maggior parte, nelle zone umide e ombrose delle foreste tropicali. Molte specie si sono comunque naturalizzate anche in Europa. In generale, si dividono in specie tropicali, esotiche e indigene italiane. Tra le prime troviamo piante da serra per le condizioni ambientali che necessitano per vivere. Possono raggiungere anche i 2 m di altezza. Le piante di dimensioni più ridotte sono coltivabili anche in appartamento.

**Descrizione specie:** Originaria dell'Asia tropicale, è la specie più diffusa. Presenta foglie intere lanceolate a margine ondulato, di colore verde scuro, lucide e con una nervatura centrale in rilievo sulla pagina sottostante e scura alla base e sul retro. Cadendo le foglie basali possono dare origine a un breve fusto scaglioso e bruno. In natura è una specie epifita. Può raggiungere 60-130 cm di altezza.

**Esigenze di temperatura, luce e umidità ambientale.**

**Temperatura:** La temperatura minima invernale dovrebbe aggirarsi intorno a 10-16°C (con temperature inferiori si rischia la comparsa di macchie brune sulle foglie). In estate sarebbe bene non superare i 23-24°C.

**Luce:** Si adatta anche ad ambienti moderatamente illuminati, assolutamente senza sole diretto.

**Annaffiature e umidità ambientale:** regolari tutto l'anno, avendo cura di evitare ristagni che possano far marcire il rizoma. L'umidità deve essere elevata.

### ***Begonia rex***

**Nome comune:** Begonia.

**Genere:** Begonia.

**Famiglia:** Begoniaceae.

**Provenienza:** Foreste tropicali dell'Annan.

**Descrizione genere:** Comprende circa un migliaio di specie di piante erbacee, perenni, sempreverdi o decidue. Altrettante sono le varietà e, addirittura, incalcolabili sono le cultivar. Hanno caratteristiche molto varie da specie a specie e vengono coltivate per il fogliame e/o per i fiori, nonché per la facilità di riproduzione e moltiplicazione. Le loro dimensioni vanno dai 10 cm ai 3 m d'altezza. Possono avere portamento eretto, ricadente o rampicante. Il fusto di solito è carnoso con nodi rigonfi a livello dei quali partono le foglie asimmetriche, carnose, di forma e colore variabili. L'unica caratteristica comune a tutte le specie del genere è quella di essere piante monoiche. I primi di solito sono caduchi, più appariscenti e formati da quattro petali ovali, due dei

quali più corti; i secondi sono formati da quattro petali uguali, sono persistenti e presentano un ovario che dà origine a un frutto-capsula alato, a sezione triangolare, con molti semi finissimi.

### **Specie e varietà**

Le specie sono divise in tre gruppi, in base al tipo di radici: tuberose (in cui rientrano anche alcune semi-tuberose che presumibilmente non sono vere specie, ma ibridi), rizomatose e a radici fascicolate. Le specie appartenenti agli ultimi due gruppi sono sempreverdi.

**Descrizione della specie:** E' la più nota del gruppo delle begonie rizomatose. La specie tipo, ha dato origine a una numerosa serie di varietà coltivate per la bellezza del fogliame. Sono tutte piante con rizoma strisciante sul suolo o solo brevemente eretto e foglie acuminate, fortemente oblique, più o meno dentate, lobate o frastagliate con la pagina superiore variegata nei più diversi toni del verde, rosa, rosso, argento. I fiori compaiono raramente e sono di colore rosa.

### **Esigenze di temperatura, luce e umidità ambientale.**

**Temperatura:** La temperatura minima invernale sopportata non deve essere al di sotto di 13°C. Sopporta male le correnti d'aria.

**Luce:** Non tollera la luce diretta del sole.

**Annaffiature e umidità ambientale:** Richiede annaffiature frequenti in estate, ridotte in inverno per permettere il periodo di riposo vegetativo. Necessita di un'elevata umidità ambientale.

### ***Calathea louise, rufibarba, veitchiana, zebrina***

**Nome comune:** Calatea.

**Genere:** Calathea.

**Famiglia:** Marantaceae.

**Provenienza:** Foreste ombrofile e tropicali dell'America del Sud e centrale (in modo particolare Brasile, Colombia, Perù, Messico meridionale).

**Descrizione genere:** Questo genere comprende circa 300 specie di piante rizomatose, erbacee, perenni e sempreverdi da serra o appartamento, coltivate per la bellezza del fogliame variopinto. Vengono spesso confuse con il genere Maranta e commercializzate come tali. Queste piante hanno un apparato radicale rizomatoso o tuberoso e presentano foglie dal lungo picciolo e dalla lamina coriacea o vellutata, ma sempre con disegni e variegature, che nascono, a ciuffi, direttamente da esso. Le infiorescenze non compaiono mai in appartamento e raramente anche in serra, a meno che la pianta non abbia assunto un grande sviluppo, e, in ogni caso, non hanno valore decorativo.

### **Descrizione specie:**

***Calathea louisae*:** Ha foglie lanceolate della lunghezza di 20-25 cm, che presentano macchie irregolari verde-oliva o grigie, sulla pagina superiore, mentre la pagina inferiore appare di colore rosso-porpora con margini verdi. Raggiunge i 40-50 cm di altezza.

***Calathea rufibarba*:** Presenta foglie lanceolate, allungate, con margini molto ondulati.

***Calathea veitchiana*:** Presenta foglie particolari di consistenza cuoiosa e forma ovale, lunghe fino a 30 cm., con disegni particolari (nelle varie sfumature di verde) che le rendono simili alle penne del pavone.

***Calathea zebrina*:** Specie che arriva fino a 50 cm di altezza, con foglie lunghe anche 40 cm, vellutate, di colore verde brillante o smeraldo con macchie marrone scuro che si dipartono dalla venatura centrale e la pagina inferiore verde negli esemplari giovani e rossastra in quelli adulti.

**Esigenze di temperatura, luce e umidità ambientale.**

**Temperatura:** Le calathee dovrebbero essere coltivate a una temperatura di 13-16° C. La temperatura minima invernale non dovrebbe essere inferiore a 10°C.

**Luce:** Le piante di questo genere devono essere tenute in posizioni ombrose: la forte luminosità determina l'accartocciamento delle foglie che si mantiene fino a quando la pianta non viene spostata in luoghi più ombrosi. Più dell'intensità della luce, è importante la durata del periodo di illuminazione: le piante sono soggette a nictonastia (le foglie assumo un aspetto verticale durante le ore notturne). Questo avviene nei paesi dove nascono spontanee, dove il giorno e la notte hanno più o meno la stessa durata. In realtà è stato osservato che il fenomeno si ripete anche da noi ogni dodici ore e, se la lunghezza del giorno viene aumentata artificialmente, le foglie si ergono anche in assenza di buio.

**Annaffiature e umidità ambientale:** Le annaffiature devono essere frequenti, tranne che da novembre a marzo. È importante il drenaggio dei vasi, per evitare danneggiamento del rizoma. Infatti, anche se la parte aerea dovesse deperire, in presenza di rizomi o tuberi sani, la pianta germoglierà nuovamente. L'umidità ambientale dovrà essere innalzata con spruzzature delle foglie (ad eccezione delle specie con foglie vellutate) e tenendo la pianta su terrine con ghiaia mantenuta sempre umida.

***Codiaeum variegatum***

**Nome comune:** Croton.

**Genere:** Codiaeum.

**Famiglia:** Euforbiaceae.

**Provenienza:** Proviene dalle isole del Pacifico (Ceylon), nonché dall'India meridionale e dalla Malesia.

**Descrizione genere:** Comprende 15 specie di piante sempreverdi, di cui la più diffusa in Europa è il *Codiaeum variegatum*. Si tratta di una pianta commercializzata per la bellezza del fogliame variamente colorato, che per le esigenze colturali risulta adatta alla coltivazione in serra e appartamento. Ne esistono molti ibridi e varietà. Nelle isole del Pacifico, dove cresce anche spontaneo, è utilizzato per le sue proprietà medicamentose: la corteccia è indicata nelle infezioni intestinali e viene anche ridotta in polvere aromatica; i semi hanno proprietà lassative e vengono spremuti per ottenere un olio; dalle foglie si possono ottenere tisane.

**Descrizione specie:** originaria della Malesia, dell'India del sud e dello Sri Lanka, questa specie arbustiva raggiunge 60 cm d'altezza in appartamento, mentre in serra calda arriva anche a 1,5-3 m. Presenta foglie alternate, semplici, glabre, di consistenza coriacea e dalla forma molto variabile (da ovale a lineare) a seconda della varietà. Anche il colore risulta molto variabile, potendo presentare, su uno sfondo generalmente verde brillante, screziature irregolari che vanno dal bianco al rosa, rosso, arancione, giallo, marrone e perfino nerastro, che si accentuano nelle foglie più vecchie. I fiori, riuniti in spighe, sono piccoli e insignificanti e di solito si eliminano, a vantaggio della bellezza del fogliame. La varietà scelta – 'Icetone': presenta foglie variegata di giallo, che con il tempo assumono tonalità purpuree, su fondo verde;

**Esigenze di temperatura, luce e umidità ambientale.**

**Temperatura:** La temperatura ideale si aggira tra i 18-21°C e comunque non deve essere mai inferiore ai 15-16°C. Può tollerare anche brevi periodi a 13°C, tenendo presente che un abbassamento della temperatura determina un rallentamento della crescita. Non tollera sbalzi di temperatura e forti escursioni termiche, nonché le correnti d'aria.

**Luce:** Per mantenere ed esaltare la colorazione delle foglie questa pianta richiede un'esposizione molto luminosa. I croton tollerano anche i raggi diretti del sole, ma bisogna avere l'accortezza di prevedere posizioni ombreggiate nei mesi e nelle ore più calde e quando le foglie siano bagnate. In assenza di un'adeguata illuminazione le foglie tendono a perdere la loro colorazione.

**Annaffiature e umidità ambientale:** Le annaffiature devono essere abbondanti in estate (periodi di siccità causano la caduta delle foglie) e ridotte in inverno. L'umidità ambientale deve essere il più alta possibile.

***Ctenanthe oppenheimiana***

**Nome comune:** Ctenante.

**Genere:** Ctenanthe.

**Famiglia:** Marantaceae.

**Provenienza:** Regioni tropicali dell'America.

**Descrizione genere:** Comprende 15 specie di piante, sempreverdi, perenni e rizomatose. Sono piante coltivate per la bellezza delle foglie dal lungo picciolo e dalla forma ovata o lanceolata. La lamina presenta spesso screziature di colore verde scuro, verde brillante, giallo o argento. Le piante coltivate in appartamento non fioriscono quasi mai; ma in serra si può assistere alla comparsa di fiori tubolari di colore bianco o giallo, riuniti in racemi apicali.

**Descrizione specie:** ***Ctenanthe oppenheimiana tricolor***. Originaria del Brasile è una specie cespugliosa, che in natura raggiunge 1-2 m di altezza, anche se in vaso difficilmente sviluppa esemplari di grandi dimensioni. Presenta radici stolonifere dalle quali si sviluppano ciuffi di foglie (che arrivano fino a 30 cm di lunghezza), che possono essere anche portate da un breve fusto, di solito inclinato, al quale si inseriscono con un lungo picciolo e che presentano lamina lanceolata,

con la pagina superiore di colore verde scuro con grandi strisce argentee che partono dalla venatura centrale e quella inferiore di colore rosso scuro. In condizioni ottimali accestisce facilmente. La varietà scelta, "Golden Mosaic" che presenta foglie più strette e irregolarmente variegata di verde, verde grigio, bianco avorio o giallo sulla pagina superiore; mentre quella inferiore assume riflessi rosa.

**Esigenze di temperatura, luce e umidità ambientale.**

**Temperatura:** La temperatura minima invernale tollerata si aggira fra i 16 e i 18°C.

**Luce:** Ottima e diffusa, al riparo dai raggi diretti del sole.

**Annaffiature e umidità ambientale:** Abbondanti in primavera-estate; quasi sospese durante l'inverno. L'umidità ambientale dovrà essere alta.

***Dieffenbachia picta***

**Nome comune:** Dieffenbachia

**Genere:** Dieffenbachia.

**Famiglia:** Araceae.

**Provenienza:** America tropicale.

**Descrizione genere:** Comprende circa 30 specie di piante perenni, sempreverdi, adatte alla coltivazione in appartamento e in serra, apprezzate per la bellezza delle foglie di forma oblunga o lanceolata, ad apice acuminato, di colore verde con variegature variabili a seconda della specie, con le venature marcate (specie la centrale, mentre le laterali risultano depresse) e con i piccioli guainanti che proteggono la nuova foglia, fino a quando non è completamente uscita. Sono piante cespugliose o a fusto eretto e carnoso, che facilmente si contorce e si inclina. Le infiorescenze non hanno valore decorativo, in quanto sono poco vistose, di colore bianco-verdastro e costituite da uno spadice e da una spatula convoluta.

**Descrizione specie:** *D. picta* o *D. maculata*: è la specie più diffusa in commercio. Presenta foglie oblunghie e acuminate, portate da piccioli lunghi, che spesso diventano penduli, che prendono attacco sul fusto erbaceo e carnoso. Il colore delle foglie della specie tipo è verde vivo, con macchie color crema che si dispongono in modo irregolare ai lati della nervatura centrale.

**Esigenze di temperatura, luce e umidità ambientale.**

**Temperatura:** La temperatura minima invernale tollerata varia da specie a specie, ma si aggira tra i 15 e i 18°C.

**Luce:** molto buona, per mantenere la variegatura del fogliame, con esclusione del sole diretto.

**Annaffiature e umidità ambientale:** le annaffiature dovranno essere frequenti in estate (2-3 volte la settimana), ridotte in inverno, anche se non sospese (1 volta la settimana), visto che la pianta cresce ininterrottamente tutto l'anno. Troppa acqua nel periodo invernale accentua la normale tendenza a perdere le foglie basali. Sono piante soggette alla marcescenza delle radici (di

consistenza particolarmente carnosa) e che temono i ristagni di acqua nel sottovaso. L'umidità ambientale deve essere elevata.

***Ficus beniamina, elastica, longifolia (lanceolata)***

**Nome comune:** Ficus.

**Genere:** Ficus.

**Famiglia:** Moraceae.

**Provenienza:** Paesi tropicali o subtropicali (India, Cina, sud-est asiatico).

**Descrizione genere:** Annovera circa 800-1000 specie di piante, con portamento e dimensioni variabili: infatti troviamo sia piante di modeste dimensioni, sia piante che, nei loro luoghi d'origine, diventano grandi alberi; oppure piante sempreverdi o a foglia caduca. Generalmente si tratta di piante delicate perché provengono da paesi tropicali o subtropicali (India, Cina, sud-est asiatico). Una caratteristica comune a tutti i Ficus, anzi a tutte le specie appartenenti alla loro famiglia, le Moracee, è la presenza nei tessuti di canali laticiferi, contenenti un lattice (o latice) bianco, denso, appiccicoso, probabilmente prodotto a scopo antipredatorio. Questo liquido può essere irritante per gli occhi e la pelle. Nei paesi d'origine da questo lattice, fatto fuoriuscire da piccole incisioni praticate sul tronco di alcune specie di Ficus, viene ricavata una gomma di buona qualità; quindi queste piante sono importanti anche dal punto di vista economico-commerciale. Il Ficus elastica è uno degli alberi più utilizzati per la produzione della gomma; riveste un'importanza tale da essere spesso indicato con il nome comune di fico della gomma. Un altro impiego sicuramente più antico che accomuna alcune specie di Ficus è quello di albero sacro e per questo custode dei templi. E' interessante soffermarci sulle grandi dimensioni e sulle altezze considerevoli che raggiungono alcuni Ficus nei loro habitat naturali, per comprendere bene l'imponenza e la maestosità di queste specie: il Ficus elastica ed il Ficus beniamina raggiungono tranquillamente i 30 metri d'altezza nei paesi d'origine; se queste specie sono messe a dimora e coltivate ad altre latitudini, in un ambiente con molte delle caratteristiche di quello originale, come la Sicilia, possono raggiungere i 20 metri, un'altezza inferiore ma sempre notevole. Negli appartamenti ovviamente non arrivano a quelle altezze, ma molti esemplari di Ficus raggiungono agevolmente i 2-2,5 metri d'altezza, oltre i quali si può procedere ad una cimatura di contenimento per ottenere piante più cespugliose. Si possono utilizzare le parti asportate alle piante per la moltiplicazione.

**Descrizione specie:**

Il ***Ficus beniamina*** è una pianta originaria del sud-est asiatico, presente dall'India alle Filippine. Ha un tronco diritto e snello, flessibile ed elegante, con una chioma molto densa. La corteccia è liscia e di colore chiaro e tende a scurirsi con l'età. I rami sono sottili e penduli; dai rami dei vecchi esemplari si sviluppano radici aeree colonnari che servono per distribuire il peso della chioma che si espande enormemente in orizzontale una volta raggiunta la maturità. Il *Ficus beniamina* è una specie sempreverde, le foglie sono ellittiche con apice acuminato, picciolate, non coriacee; la loro

lunghezza è di circa 7-12 cm, il margine è intero. Il colore è verde brillante da giovane mentre la colorazione è più scura è quando le foglie sono adulte.

Il ***Ficus elastica*** è originario anch'esso dell'Asia tropicale. Presenta un tronco relativamente sottile, e tende molto a ramificarsi. Infatti nei luoghi d'origine si presenta con una chioma molto espansa orizzontalmente e sorretta da lunghe radici colonnari che si dipartono dai rami. Le giovani foglie sono avvolte in una guaina rossa, sono ovate e acuminate all'apice, lunghe anche 30 cm e sono dotate di un robusto picciolo. Le foglie del *F. elastica* hanno inoltre una consistenza coriacea. La colorazione delle foglie è verde scura e lucida superiormente, mentre inferiormente è di un verde più tenue. Nella pagina inferiore spicca la nervatura centrale, la quale è rossa e molto sporgente. Va ricordato che quella appena descritta non è la specie tipica ma è la varietà "Decora", pianta ottenuta dopo molte ibridazioni. La specie tipica, ad esempio, si distingue dalla varietà "Decora" per la forma delle foglie, che sono marcatamente oblunghie e non ovali.

Il ***Ficus longifolia (lanceolata)*** è originario dell'Asia tropicale occidentale ed ha anch'esso, come il *F. elastica*, foglie molto grandi, lucide e coriacee. Però la lunghezza delle foglie del *F. longifolia* può essere molto superiore a quelle del *F. elastica* raggiungendo perfino i 60 cm. Nei luoghi d'origine, il *F. longifolia* è un albero imponente, la cui chioma raggiunge gli 8 metri di diametro. E' una specie sempreverde.

### **Esigenze di temperatura, luce e umidità ambientale**

#### **Temperatura**

Queste piante trovano in appartamenti e uffici buone condizioni di vita soprattutto in relazione alla temperatura. Infatti in questi ambienti la temperatura, anche in pieno inverno, è sempre stabile intorno ai 18-20°C. Questa temperatura è sufficiente per far vivere e prosperare i Ficus in appartamento, anche se la temperatura ideale di cui i Ficus avrebbero bisogno sarebbe leggermente superiore, ovvero intorno ai 20-22°C nelle ore di luce, e intorno ai 15-18°C di notte. Altri Ficus, come il *F. benamina*, sopportano anche temperature minime più basse, intorno ai 13-15°C.

#### **Illuminazione**

E' necessario curare molto l'esposizione luminosa per i Ficus. Infatti non necessitano e non amano la luce diretta del sole, ma prediligono ugualmente ambienti luminosi. Quando i raggi solari colpiscono le foglie, esse presentano delle scottature e delle decolorazioni, soprattutto se hanno passato la stagione fredda in un luogo riparato dai raggi solari. Nelle regioni meridionali, dove il clima si mantiene mite per tutto l'inverno, i Ficus possono rimanere all'aperto senza problemi di luce e di temperatura.

#### **Umidità atmosferica**

Il tasso di umidità ottimale si aggira intorno al 70-80%.

### ***Fittonia verschaffeltii***

**Nome comune:** Fittonia.

**Genere:** Fittonia.

**Famiglia:** Acanthaceae.

**Provenienza:** America Meridionale e Centrale.

**Descrizione genere:** Comprende due specie di piante perenni adatte alla coltivazione in serra tiepida o in appartamento, dove però il limite maggiore è rappresentato dalla difficoltà di ricreare un ambiente particolarmente umido, come quello necessario alla crescita di tali specie.

**Descrizione specie:** Originaria del Perù, questa specie presenta foglie grandi, di colore verde oliva scuro, leggermente vellutate e ricoperte da un fitto reticolato di venature rosso-carminio, portate da steli fini e tomentosi.

#### **Esigenze di temperatura, luce e umidità ambientale**

**Temperatura:** La temperatura minima invernale non deve essere inferiore a 12-14°C.

**Luce:** forte e diffusa in inverno, più ridotta e ombreggiata in estate.

**Annaffiature e umidità ambientale:** Necessita di annaffiature abbondanti in estate e ridotte durante l'inverno. L'umidità ambientale deve essere innalzata con ogni mezzo.

### ***Iresine herbstii***

**Nome comune:** Iresine, la sanguinaria.

**Genere:** Iresine.

**Famiglia:** Amaranthaceae.

**Provenienza:** Zone calde dell'America, dell'Australia e delle Galapagos.

**Descrizione genere:** Comprende circa 80 specie di piante perenni, erbacee o arbustive coltivate unicamente per la bellezza del fogliame, variamente colorato, visto che i fiori (solitamente biancastri o verdastri) non hanno nessun interesse ornamentale. Sono utilizzate molto nelle composizioni per sfruttare al massimo il loro contributo cromatico.

**Descrizione specie:** E' originaria dell'America Meridionale questa specie ha portamento eretto e molto folto. Le foglie hanno la lamina cuoriforme di colore marrone scuro, sulla pagina superiore e cremisi (così come le venature), su quella inferiore.

#### **Esigenze di temperatura, luce e umidità ambientale**

**Temperatura:** la temperatura minima invernale non dovrebbe essere inferiore a 13-14°C.

**Luce:** molto forte, per poter mantenere la colorazione del fogliame. Tollera anche il sole diretto.

**Annaffiature e umidità ambientale:** annaffiare abbondantemente in estate; molto meno in inverno. L'umidità ambientale dovrebbe essere mantenuta molto alta.

.



## ***Philodendron erubescens, scandens***

**Nome comune:** Filodendro.

**Genere:** Philodendron.

**Famiglia:** Araceae.

**Provenienza:** Zone tropicali e sub-tropicali dell'America Meridionale (in modo particolare Brasile, Guyana, Colombia).

**Descrizione genere:** Comprende oltre 275 specie di piante sempreverdi striscianti e decumbenti, rampicanti, erette con breve fusto e persino semi-arborescenti o epifite. Il grande dimorfismo, che talvolta esiste tra lo stadio giovanile e quello adulto, ha reso più difficile la classificazione delle specie appartenenti al genere, tanto che a volte sono stati classificati come appartenenti a specie diverse esemplari che, invece, dovevano le loro differenze morfologiche al diverso stadio di vita in cui si trovavano ad essere. La materia viene complicata inoltre dalla presenza di un grande numero di ibridi primari, naturali e originari, o apparsi in coltivazione, anche per mutazione. La maggior parte delle specie, comunque, emette radici aeree a livello dei nodi, per mezzo delle quali quelle rampicanti si attaccano ai tutori. Le foglie hanno forma e dimensione variabile: spesso sono ovali, cuoriformi o più o meno allungate o sagittate, con i margini interi, lobati o settati in vari modi. Talvolta, come detto prima, il colore e la forma si evolvono con lo stadio della pianta. Di solito, comunque presentano tinta unita, verde brillante, talvolta con nervature evidenti (sono rare le varietà a foglie variegata e comunque molto delicate e non adatte alla coltivazione in appartamento). Le foglie prendono inserzione sul fusto con un picciolo enicolato (che cambia direzione improvvisamente), spesso molto lungo, che può essere o no guainante e alato alla base. Le foglie giovani nascono convolute in stipole avvolgenti, che cadono solo al completo sviluppo del picciolo. L'infiorescenza è quella tipica della famiglia: formata da fiori unisessuali portati su uno spadice carnoso, più o meno, protetto e avvolto da una spatula. Il frutto che segue è una bacca.

### **Descrizione specie:**

***Philodendron erubescens* “Emerald Queen”:** Ibrido di origine sconosciuta, vigoroso e a portamento rampicante, presenta foglie astate, verdi e lucide. È discretamente resistente sia alle basse temperature che ad ambienti poco luminosi, anche se, con poca luce, le foglie tenderanno a diventare più piccole.

***Philodendron scandens* o *P. cuspidatum*:** questa specie rampicante, originaria dell'America Centrale, presenta fusti sottili che portano foglie cuoriformi, lunghe 10 cm. e larghe 8 cm., con apice appuntito, di colore verde scuro (verde bronzato allo stadio giovanile). Le stipole sono rosate. È particolarmente adatto alla coltivazione in appartamento, dove può raggiungere anche i 2 m. di altezza. Specie resistentissima, tollera con disinvoltura l'atmosfera inquinata, temperature alte e basse (fino a 7 °C) e ambienti scarsamente illuminati (anche se in questo caso le foglie rimangono più piccole del normale). Ha la tendenza ad emettere radici aeree a livello dei nodi. Può essere coltivata come decumbente.

### **Esigenze di temperatura, luce e umidità ambientale**

**Temperatura:** La temperatura minima invernale dovrebbe essere compresa tra 15 e 17 °C, mai inferiore a 13 °C. Le piante non tollerano correnti d'aria. Temperature inferiori a 10 °C possono risultare fatali.

**Luce:** Tollerano anche ambienti non molto luminosi, ma crescono meglio se esposti a buona luce diffusa. Essendo piante del sottobosco, non tollerano i raggi diretti del sole.

**Annaffiature e umidità ambientale:** Annaffiare abbondantemente in primavera-estate; ridurre la frequenza delle somministrazioni in autunno-inverno (incrementando l'umidità atmosferica) tanto quanto basta a mantenere il substrato umido, senza farlo seccare. Il fabbisogno di umidità ambientale varia a seconda delle specie, ma tutte vivono male in ambienti troppo secchi e caldi (specie in inverno). Le specie rampicanti necessitano di supporti da poter inumidire per integrare la funzione delle radici avventizie che compaiono ai nodi.

### ***Pothos aureus***

**Nome comune:** Potos.

**Genere:** Scindaptus.

**Famiglia:** Araceae.

**Provenienza:** Thailandia e isole Salomone (Oceano Pacifico).

**Descrizione genere:** Comprende circa 40 specie di piante, rampicanti e sempreverdi facili da coltivare e apprezzate per la loro eleganza. Alcune specie prima erano classificate nel genere *Pothos* e spesso vengono identificate ancora con tale nome.

**Descrizione specie:** *Scindapsus aureus* o *Pothos aureus* o *Epipremnum aureum* o *Rhaphidophora aurea*: specie rampicante, sempreverde, dotata di radici aeree che si sviluppano a partire dai nodi. Le foglie (che in natura raggiungono anche la lunghezza di 50 cm e più) hanno la lamina che si presenta ovata, acuminata, lunga circa 10 cm., di colore verde screziato di giallo, allo stadio giovanile e cuoriforme, allo stadio adulto. In appartamento spesso si perdono le variegature, complice talvolta un'esposizione poco luminosa. I fiori, che raramente compaiono in appartamento, sono piccolissimi e raccolti in uno spadice avvolto da una spatula colorata. Nel suo habitat naturale raggiunge 6-8 m. di altezza, mentre in appartamento non supera i 2 m.

### **Esigenze di temperatura, luce e umidità ambientale**

**Temperatura:** La temperatura minima invernale deve essere compresa tra 13 e 18 °C (in modo particolare per *S. pictus* non deve scendere al di sotto di 16 °C).

**Luce:** Buona, ma diffusa al riparo dal sole diretto. Un'esposizione poco luminosa determina la perdita delle screziature.

**Annaffiature e umidità ambientale:** Annaffiare frequentemente in estate (anche 3 volte la settimana se fa molto caldo), lasciando che il substrato asciughi tra una somministrazione e l'altra; ridurre le somministrazioni in inverno; l'umidità ambientale deve essere incrementata con

spruzzature e lavaggi delle foglie, nonché posizionando i vasi su terrine riempite di ciottoli tenuti costantemente umidi. Essendo piante con apparato radicale poco sviluppato e soggetto a marciumi radicali, si preferisce assicurare un'adeguata umidità alle radici aeree.

### ***Syngonium podophyllum***

**Nome comune:** Singonium.

**Genere:** Syngonium.

**Famiglia:** Araceae.

**Descrizione genere:** Comprende circa venti specie di piante a portamento rampicante che presentano fusti flessibili, che si aggrappano, ai sostegni loro forniti, per mezzo di radici avventizie, che vengono utilizzate anche per captare l'umidità ambientale. Le foglie, sagittate allo stadio giovanile, diventano pedate e spesso divise in 5-9 segmenti disuguali (quello centrale risulta solitamente il più grande e lungo, mentre quelli basali presentano spesso due lobi laterali di dimensioni inferiori) allo stadio adulto e non presentano mai stipole. Sono portate da piccioli guainanti e alati e ogni foglia nasce convoluta dal picciolo di quella precedente. Le infiorescenze, che difficilmente compaiono in coltivazione, sono quelle tipiche della famiglia: uno spadice più corto della spata che lo avvolge. Sono piante molto utilizzate in appartamento data la loro adattabilità ad ambienti poco luminosi e secchi.

**Descrizione specie:** Questa specie è forse la più coltivata del genere Syngonium. Presenta un forte dimorfismo fogliare: le foglie giovani hanno la lamina astata e di colore verde brillante; quelle adulte possono diventare palmato-lobate e presentare fino a nove segmenti. Lo sviluppo della pianta dipende dal tipo di allevamento cui viene sottoposta: se coltivata come rampicante, con tutori ai quali aggrapparsi con le radici aeree, sarà più vigorosa; se coltivata come decombente risulterà più debole e quasi mancante di radici aeree. Gli steli possono raggiungere la lunghezza di 1,8 m. Non è facile trovare in commercio la specie tipo, che è stata praticamente sostituita da ibridi e varietà.

### **Esigenze di temperatura, luce e umidità ambientale**

**Temperatura:** La temperatura minima invernale non deve essere inferiore a 13-16 °C.

**Luce:** Buona, ma diffusa, al riparo dai raggi diretti del sole. Le specie variegata necessitano di maggiore luminosità per mantenere i colori delle foglie.

**Annaffiature e umidità ambientale:** Frequenti in primavera-estate; e ridotte in autunno-inverno, lasciando che il substrato si asciughi tra l'una e l'altra. L'umidità atmosferica deve essere elevata.

# CARATTERIZZAZIONE DELLA RISPOSTA FOTOSINTETICA ALLA LUCE DELLE PRINCIPALI SPECIE DI PIANTE COLTIVATE PER GLI INTERNI

## Introduzione

Molto eterogenea è la gamma di specie e cultivar utilizzate per l'arredo degli interni, con tipo di accrescimento, habitus ed esigenze ambientali alquanto diversificate.

Le specie più comunemente impiegate comprendono piante erbacee ed erbaceo-arbustive, ma sono presenti anche piante che in natura hanno un accrescimento arboreo. Il *Ficus* ne è un esempio. Le piante comunemente disponibili sul mercato comprendono circa 700 cultivar appartenenti a oltre 100 generi originari delle aree a clima tropicale e subtropicale dei continenti americano e asiatico ma provenienti da microclimi piuttosto differenziati (ad esempio zone rocciose aperte, sottobosco tropicale). La diversità degli ambienti nei quali queste piante si sono evolute ha determinato un'importante differenziazione delle esigenze nei riguardi della intensità luminosa, confermata dalla diversa performance in fase di utilizzo negli interni, anche dopo il periodo di ambientamento. È poco consistente la bibliografia relativa all'andamento della fotosintesi in relazione all'intensità luminosa per questa categoria di piante ornamentali, e comunque i dati disponibili riguardano condizioni ambientali in fase di coltivazione in serra (es. *Ficus benjamin*, *Schefflera arboricola*; Jonson et al. 1982; Schiefthaler et al. 1999).

Scopo della prova è quello di definire le curve di risposta fotosintetica in relazione all'intensità luminosa nell'ambito della PAR (assimilazione di CO<sub>2</sub>) di diverse specie a fogliame decorativo e da vaso fiorito, per la scelta della posizione migliore e di un giusto dimensionamento dell'impianto di illuminazione integrativa in fase di utilizzo. Parallelamente si è ritenuto opportuno definire alcuni aspetti metodologici connessi alla misurazione degli scambi gassosi quali l'individuazione delle "foglie campione"/pianta e della porzione di foglia con la maggiore efficienza fotosintetica, da utilizzare per i rilievi.

## Materiali e metodi

Sono state analizzate 21 specie appartenenti a 9 differenti famiglie, comunemente coltivate e commercializzate per l'arredo degli interni (tab.7). Le piante sono state coltivate per una durata di 4 mesi, dal 1 luglio al 31 ottobre, con temperatura, umidità relativa e intensità luminosa controllate.

A cadenza settimanale è stato distribuito un concime ternario idrosolubile (N:P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>:K<sub>2</sub>O 20:20:20) alla concentrazione di 0.4g/l somministrato per bagnatura del substrato fino alla capacità di campo. La coltivazione è avvenuta sotto lampade spot a fluorescenza del tipo OSRAM FLORASET-P 80w, poste ad una distanza media di 50 cm dalle foglie; in tal modo la PAR media incidente sulle foglie, misurata con sensore PAR LI6400XT ha raggiunto valori di 20-80  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  passando dalla

zona del colletto verso le foglie distali e a seconda dell'altezza delle piante. È stato programmato un fotoperiodo di 8 ore di luce e 16 ore di buio, analogo alla durata dell'illuminazione comunemente adottata negli interni adibiti a uffici e centri commerciali.

La temperatura e l'umidità relativa sono state mantenute costanti a valori di  $25\pm 2^{\circ}\text{C}$  e  $80\pm 5\%$ .

L'analisi al microscopio elettronico Nikon 200XM, ad ingrandimento 200 e 400X dell'epidermide abassiale delle lamine fogliari a completa espansione ha consentito di verificare la distribuzione degli stomi e di calcolarne la densità e la grandezza nelle diverse specie/cv. I valori di conduttanza stomatica sono stati misurati con misuratore portatile LI6400XT e calcolato un range di valori tipici per ogni specie, tra un minimo e un massimo che hanno permesso di valutare l'attendibilità delle misurazioni fotosintetiche.

Le misurazioni della  $\text{CO}_2$  assimilata hanno avuto inizio dopo quattro mesi di ambientamento alle condizioni sopraindicate e sono state eseguite con LI6400XT con un flusso di aria costante di  $200\ \mu\text{mol s}^{-1}$  ad una concentrazione di 400 ppm di  $\text{CO}_2$  utilizzando una cuvette di  $6\text{cm}^2$ . È stato quantificato il tasso di fotosintesi netta ( $\Delta\text{CO}_2$ ) a valori crescenti di *PAR*: (20, 40, 80, 100, 200, 400, 600, 800, 1000, 1200, 1400, 1600, 1800, 2000, 2200 e  $2400\ \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ) su foglie disetanee (apicale, mediana e basale) e una volta individuata quella con maggior efficienza, su questa è stata ripetuta per 3 volte l'intera sequenza delle *PAR*. Per la determinazione del punto di compensazione e del tasso di respirazione al buio la misurazione della  $\text{CO}_2$  è stata effettuata, sempre sulla stessa foglia, passando da 20 ad una  $\text{PAR}=0\ \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$  con 3 misurazioni ogni 8 minuti.

Per ogni valore di *PAR* sono state effettuate 3 letture a intervalli di 8 minuti per ognuna delle 3 sequenze ed è stato considerato il dato medio. Le curve di fotosintesi delle singole specie/cultivar derivano pertanto dal fit di 9 dati per ogni valore di *PAR*.

I parametri che caratterizzano le curve di risposta alla luce quali il punto di compensazione (*g*), il punto di saturazione (*s*), l'efficienza quantica (*AQE*), la fotosintesi massima (*Amax*) e la respirazione al buio (*Rd*) sono stati analizzati mediante analisi multivariata.

Tab. 7 – Elenco, classificazione botanica e caratteristiche cromatiche del fogliame delle specie valutate.

FAMIGLIA	GENERE	SPECIE – varietà - CV	COLORE FOGLIAME
Acantaceae	<i>Fittonia</i>	<i>verschaffeltii</i> var. <i>argyroneura</i> “Superba Janita”	R*
Amarantaceae	<i>Iresine</i>	<i>herbistii</i>	R
Araceae	<i>Epipremnum</i> (Potos)	<i>pinnatum</i> “Aureum”	Var. V + B
Araceae	<i>Anthurium</i>	<i>andreaeanum</i> “Dakota”	V + f
Araceae	<i>Syngonium</i>	<i>podophyllum</i> “Maya Red”	R
Araceae	<i>Philodendron</i>	<i>erubescens</i> “Red Emerald”	R
Araceae	<i>Philodendron</i>	<i>pertusum</i>	Var. V
Araceae	<i>Dieffenbachia</i>	<i>picta</i> “Camilla”	V + B
Araceae	<i>Aglaonema</i>	<i>commutatum</i> “Sylver Queen”	V + B
Araceae	<i>Spathiphyllum</i>	<i>wallisii</i> “Mauna Loa”	V+f
Begoniaceae	<i>Begonia</i>	<i>rex</i>	R
Euphorbiaceae	<i>Codiaeum</i>	<i>variegatum</i> “Icetone”	V + R + G
Marantaceae	<i>Calathea</i>	<i>louisae</i>	Var. V
Marantaceae	<i>Calathea</i>	<i>veitchiana</i>	Var. V
Marantaceae	<i>Calathea</i>	<i>rufibarba</i>	Var. V + R
Marantaceae	<i>Calathea</i>	<i>zebrina</i>	Var. V
Marantaceae	<i>Ctenanthe</i>	<i>oppenheimiana</i> “Golden Mosaic”	Var. V + B
Moraceae	<i>Ficus</i>	<i>benjamina</i> “Starlight”	Var. V + B
Moraceae	<i>Ficus</i>	<i>elastica</i> “Ruby”	Var. V + B + R
Moraceae	<i>Ficus</i>	<i>longifolia</i> “Amstel Queen”	V
Polipodiaceae	<i>Asplenium</i>	<i>nidus</i>	V

\* - R= colore dominante rosso; B= bianco; V= verde; G= giallo; Var= variegato; f=fioritura

## Risultati

### Conduttanza stomatica

La conduttanza stomatica è risultata un parametro estremamente variabile tra le specie in termini di valore medio, range e andamento rispetto all'intensità luminosa. I valori medi a *PAR* da 20 a 2400  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  sono infatti oscillati da 0,008 (*Anthurium*, *Iresine*, *Philodendron*) a 0,059  $\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$  per *Ficus elastica*, *Ctenanthe* e *Begonia* con una forte variabilità per *Calathea zebrina* (77,0%) e *Ficus elastica* (81,5%) rispetto alla media (figg. 1 e 2). In *Ficus elastica* inoltre, la conduttanza stomatica e la fotosintesi risultano influenzate dalla *PAR* in modo analogo (fig. 3) come dimostra la correlazione lineare  $\text{Cond} = 0,0117\text{Ph} + 0,0091$  ( $R^2 = 0,96$ ). In *Asplenium* e *Ctenanthe* invece, mentre i valori di conduttanza stomatica aumentano linearmente all'incremento della *PAR*, la fotosintesi per la prima specie decresce oltre il valore di 1200  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  mentre per la seconda l'aumento della *PAR* oltre 1500  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  non determina variazioni dell'assimilazione (figg. 4-5). In *Anthurium andreanum*, *Codiaeum variegatum*, *Calathea luoise*, *Calathea veitchiana*, *Calathea rufibarba* e *Potos aureus* d'altra parte, la conduttanza stomatica sembra non influenzabile in quanto si mantiene pressoché costante con variabilità inferiori al 16% (fig. 1). Per quanto riguarda gli intervalli di conduttanze per famiglia, le Moraceae presentano la più elevata variabilità determinata dalla presenza di *Ficus longifolia* e *Ficus elastica* (0,005 - 0,06  $\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$  rispettivamente). Le Araceae presentano intervalli di conduttanza stomatica simili con valori minimi in *Philodendron erubescens* e massimi in *Syngonium podophyllum* di 0,004 e 0,037  $\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$  rispettivamente. La famiglia delle Marantaceae presenta valori medi di conduttanza minima più elevati rispetto alle altre due famiglie e valori medi di conduttanza massima più elevata rispetto alle Araceae ma inferiori alle Moraceae (fig. 2).

### Fotosintesi

L'andamento della fotosintesi rispetto alla *PAR* nel range considerato (20 a 2400  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) è risultato molto variabile e caratteristico per ogni specie (fig. 6 e tab. 8). La maggioranza delle specie analizzate ha presentato un tipico comportamento saturante e solo *Asplenium*, *Syngonium* e *Fittonia* hanno manifestato fenomeni di fotossidazione oltre le *PAR* 1000, 1200 e 1600  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  rispettivamente (figg. 6a - 6d).

Il punto di saturazione (*s*) alla luce corrisponde a valori compresi fra 108,0  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  in *Anthurium* a 820,8 in *Calathea zebrina* e l'efficienza quantica (AQE) alla luce ha una variabilità compresa tra 0,007 di *Dieffenbachia* e 0,169 di *Ctenanthe*; ciò conferma l'estrema eterogeneità per efficienza fotosintetica delle specie incluse nella gamma considerata.

AQE: dieff < philod. erub.< philod. pert. < agl. < cal. veit < cal. ruf.< cal. zeb. < cod. < spath.< anth. < fic. long.< syng. < aspl.< fitt.< ficus el. < potos < ficus benj. < ires. < cal. loui. < beg. rex < cten. opp (tab. 8).

I valori di  $A_{max}$  variano da 1,20 in *Anthurium* a 8,03  $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  in *Ficus elastica* e i punti di compensazione ( $g$ ) per quasi tutte le specie sono stati raggiunti a PAR inferiori alle 15  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ; fanno eccezione infatti solo *Ficus longifolia* (20,8  $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  ed entrambi i filodendri (28,8 – 33,6  $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ; tab. 8). In base all'assimilazione massima le specie classificate sono state suddivise in quattro categorie (tab.9).

Dall'analisi multivariata, considerando i parametri riportati in tabella 8, (punto di compensazione ( $g$ ), punto di saturazione ( $s$ ), efficienza quantica ( $a$ ), fotosintesi massima ( $A_{max}$ ) respirazione al buio ( $R_d$ )) è emerso che in base al fattore 1, che spiega il 40,83% della variabilità, *Ctenanthe*, *Begonia*, *Calathea rufibarba*, *Ficus elastica* e *Ficus benjamina* si distinguono nettamente da *Dieffenbachia* e *Anthurium* per AQE,  $A_{max}$ , e  $s$  alti. Pur appartenendo allo stesso genere *C. zebrina* si differenzia da *C. rufibarba* e *C. louise* per bassi valori di  $R_d$  e alti valori di  $s$ . Anche le specie *Syngonium podophyllum*, *Philodendron erubescens* e *Philodendron pertusum* presentano alti  $R_d$  e  $s$  rispetto ad *Asplenium*, *Anthurium*, *Begonia* e *Potos* (figg 7 e 8).

## Discussioni e conclusioni

La conduttanza stomatica è risultata essere un parametro estremamente con un intervallo di valori caratteristico per ogni specie e non correlato alla fotosintesi. Nell'ambito della famiglia Marantaceae infatti *Calathea louise*, *Calathea rufibarba* e *Calathea veitchiana* sono caratterizzate da intervalli di conduttanza con valori estremamente bassi < 0,01 e con una variabilità < del 15% mentre *Calathea zebrina* presenta un intervallo di conduttanza con valori minimi simili alle precedenti specie e valori massimi superiori a 0,09 con una variabilità del 77%. L'eterogeneità della famiglia caratteristica perlopiù degli habitat di sottobosco delle foreste tropicali riflette tuttavia l'ampia varietà degli areali di provenienza. Le Marantacee infatti sono native dell'America del Sud e Centrale, dal Brasile alla Colombia e dal Perù al Messico meridionale di zone con forti oscillazioni in termini di condizioni luminose termiche e di umidità ambientale. Nella fattispecie *Calathea zebrina*, tipica di un sottobosco particolarmente luminoso, con valori di conduttanza stomatica maggiori e con una più ampia variabilità, sembra possedere una maggiore potenzialità fotosintetica, come conferma fra l'altro il valore di  $A_{max}$  raggiunto. A 800  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  di PAR corrisponde infatti un'assimilazione netta (6,35  $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ) superiore a quella delle alte calathee (5,32-2,03  $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ). D'altro canto *Calathea rufibarba* che presenta valori di conduttanza stomatica molto bassi (minimo = 0,009 e massimo = 0,01  $\mu\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ) raggiunge comunque alla stesa PAR valori di  $A_{max}$  di 4,8  $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  ma questa è tipica di sottoboschi più fitti. All'opposto *Calathea veitchiana* pur presentando un valore minimo di



conduttanza stomatica simile a *Calathea zebrina* (0,011 e 0,012  $\mu\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$  rispettivamente), è caratterizzata da un valore massimo di conduttanza di 0,017  $\mu\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$  pari solo al 18,7% di quelle dell'altra specie. A 800  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  di PAR raggiunge un  $A_{\text{max}}$  di 2,03  $\mu\text{mol CO}_2 \text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$  pari al 32% del valore ottenuto da *C. zebrina*. All'interno delle Marantaceae *Ctenanthe oppenheimiana* presenta i valori di conduttanza stomatica sia minimi che massimi superiori (0,025 e 0,093  $\mu\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) e valori massimi di fotosintesi netta di 7,17  $\mu\text{mol CO}_2 \text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$  raggiunti a 2000  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  di PAR. Questa pianta presentando inoltre un punto di saturazione alla luce alto (684  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ), la più elevata efficienza quantica (0,169) tra tutte le specie considerate e uno tra i più alti valori di  $A_{\text{max}}$  in ordine di grandezza tra le specie analizzate che farebbero ipotizzare un adattamento molto spiccato ai sunflecks tipici di un sottobosco a buona disponibilità luminosa.

All'interno della famiglia delle moraceae *Ficus beniamina*, *elastica* e *longifolia* sono specie che in condizioni naturali possono raggiungere diametri delle chiome anche di 30 e più metri e occupare i piani secondari delle foreste planiziarie tropicali. I valori molto alti di conduttanza stomatica correlati alla potenzialità fotosintetica riflettono per le tre specie una più spiccata adattabilità alle condizioni di alta intensità luminosa tipica dei piani secondari delle foreste tropicali. Valori molto bassi di efficienza quantica in contrapposizione alle alte potenzialità fotosintetiche riflettono il loro adattamento a condizioni di elevata disponibilità luminosa dove uno spreco di luce può essere ammesso in un ambiente in cui il fattore luminoso non è limitante.

La famiglia delle aracee presenta caratteristiche molto differenziate tra le specie.

*Philodendron erubescens* e *Philodendron pertusum* presentano particolarità specifiche molto singolari; gli alti valori di compensazione (33,6 e 28,8  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) e saturazione (508,8 e 561,6  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) entrambi i più elevati tra tutte le aracee considerate, contrapposti a basse rese quantiche (0,009 e 0,013  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) dimostrano che tali specie possono usufruire di una ben specifica intensità di illuminazione che va dalle 30  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  alle 560  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  di PAR rendendo massima la resa quantica in questo intervallo di intensità luminosa.

*Anthurium andreanum* mostra il più basso valore di saturazione alla luce di tutte le 21 specie analizzate con 108,0  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , un'efficienza quantica tra le più basse di 0,015  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  e la più bassa assimilazione netta di 1,20  $\mu\text{mol CO}_2 \text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$  tra tutte le 21 specie. Tali caratteristiche fanno ipotizzare che l'*Anthurium* è una pianta particolarmente resistente a condizioni di bassissima disponibilità luminosa in quanto la resa quantica è massima per PAR compresa tra le 6 e le 100  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  e quindi particolarmente tollerante ambiente scarsamente illuminati.

All'interno delle aracee *Syngonium podophyllum* raggiunge la fotosintesi netta più elevata con un valore di 5,01  $\mu\text{mol CO}_2 \text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$  assimilate. Alti valori di saturazione e medi valori di compensazione alla luce (441,6 e 6,6  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) la rendono insieme ad *Aglaonema commutatum* con valori di 524,4 e 4,8  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  due aracee adatte a condizioni di buona illuminazione ambientale potendo usufruire convenientemente di una gamma di PAR dalle 10 alle 540  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ .

*Dieffenbachia picta* presentando bassi punti di saturazione alla luce ( $153,6 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ), il più basso valore di compensazione ( $7,2 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) e la più bassa efficienza quantica (0,007) è tra le aracee quella che beneficia non solo di bassi regimi luminosi ambientali comunque inferiori alle  $150 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  di PAR, ma che anche in tali condizioni mostra la più ridotta efficienza quantica. Esigenze luminose molto simili presenta inoltre *Spathiphyllum wallisii* pur avendo rese quantiche superiori di 0,029 rispetto a *dieffenbachia*.

*Fittonia verschaffeltii*, *Begonia rex*, e *Codiaeum variegatum* mostrano esigenze luminose molto simili a *singonium* ( $10\text{-}450 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) di PAR presentando analoghi punti di compensazione alla luce e punti di saturazioni paragonabili compresi tra  $408,8 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  di PAR di *fittonia* e  $456,0 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  di PAR di *croton*. Tra le 21 specie analizzate *Iresine herbistii* ha invece il più elevato punto di compensazione alla luce con un valore di  $14,4 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ .

*Asplenium nidus* è una specie ad esigenze luminose molto simili ad *anthurium* dalla quale si differenzia per valori di punto di saturazione e efficienza quantica leggermente più alti e che nel complesso trova il miglior adattamento per PAR comprese tra le 6 e le  $10 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ .

Nella fase di utilizzo negli interni, in termini di scelta del posizionamento migliore e del dimensionamento dell'impianto di illuminazione più idoneo alle singole necessità possono essere fatti raggruppamenti tra le specie analizzate in funzione delle PAR rilevate (Tab. 5) in un interno con le superfici finestrate orientate nei quattro punti cardinali per la stagione autunno-invernale caratterizzata dalla minor disponibilità luminosa. In linea generale tutte e 21 le specie pur non sopportando la luce diretta del sole, possono trovare sufficienti disponibilità luminose se vengono collocate ad 1 m dalle finestre per ogni orientamento. Ad una distanza superiore a 1 m da una finestra orientata a ovest *Ficus longifolia* non dispone di sufficiente PAR. *Philodendron erubescens* e *Philodendron pertusum* non dispongono di una sufficiente illuminazione oltre 1 m dai vetri in una stanza orientata a nord e per *pertusum* anche l'orientamento ovest va evitato.

*Anthurium andreaeanum* e *Dieffenbachia picta* che tollerano basse esigenze luminose e che non sopportano luce diretta solare non possono essere collocate ad una distanza inferiore ad 1 metro dalle finestre orientate a sud e anche l'orientamento est è da scartare per *anthurium* per la stessa distanza.

Possono essere collocate alla distanza di due metri dalle finestre e per tutti gli orientamenti *Anthurium andreaeanum*, *Aglaonema commutatum*, *Asplenium nidus*, *Calathea louise*, *Calathea rufibarba*, *Calathea zebrina*, *Ctenanthe oppenheimiana*, *Dieffenbachia picta*, *Ficus benjamin*, *Spathiphyllum wallisii* e *Potos aureus*.

Le stesse specie ad eccezione di *Dieffenbachia picta* possono essere utilizzate nel solo orientamento est alla distanza di tre metri dai vetri. Oltre i tre metri dai vetri nessuna specie dispone di PAR sufficiente a superare il punto di compensazione.

Per quanto riguarda il dimensionamento dell'impianto di illuminazione le lampade impiegate devono garantire, qualora tutte le specie venissero impiegate insieme nella realizzazione di uno

spazio verde interno, una PAR minima di almeno  $5 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  e una PAR ottimale di  $53 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ .

Uno spazio verde a basse esigenze luminose dovrà essere composto da *Anthurium andreaeanum*, *Aglaonema commutatum*, *Dieffenbakia picta* che utilizzate insieme necessitano esclusivamente di lampade fornenti PAR di appena  $5-7 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ .

Per uno spazio verde ad alta esigenza luminosa composto da *Ficus benjamin*, *Ficus elastica* e *Ctenanthe oppenheimiana* possono essere impiegate lampade più potenti che emettano una PAR ottimale di  $360 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  o comunque comprese tra un minimo di 20 e un massimo di  $700 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ .

Per composizioni che impiegano piante appartenenti alla stessa famiglia sarebbero necessarie lampade fornenti una PAR ottimale  $50 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  per le aracee, una PAR ottimale di  $300 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  per le marantacee e una PAR ottimale di  $320 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  per le moracee.

Lampade comunque fornenti una PAR minima di  $5 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  sono comunque sufficienti da garantire la sopravvivenza di tutte le 21 specie in un interno.

Fig.1. – Conduttanza media delle 21 specie/cultivar analizzate.

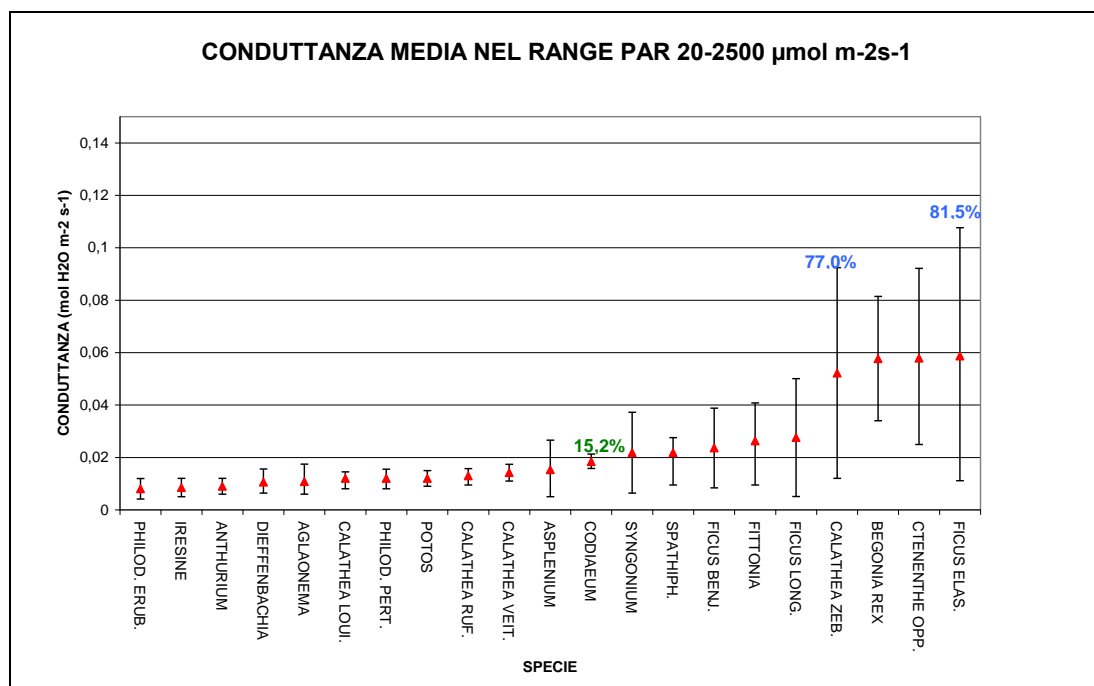


Fig.2. – Valori medi di conduttanza minima e massima in Araceae, Marantaceae e Moraceae.

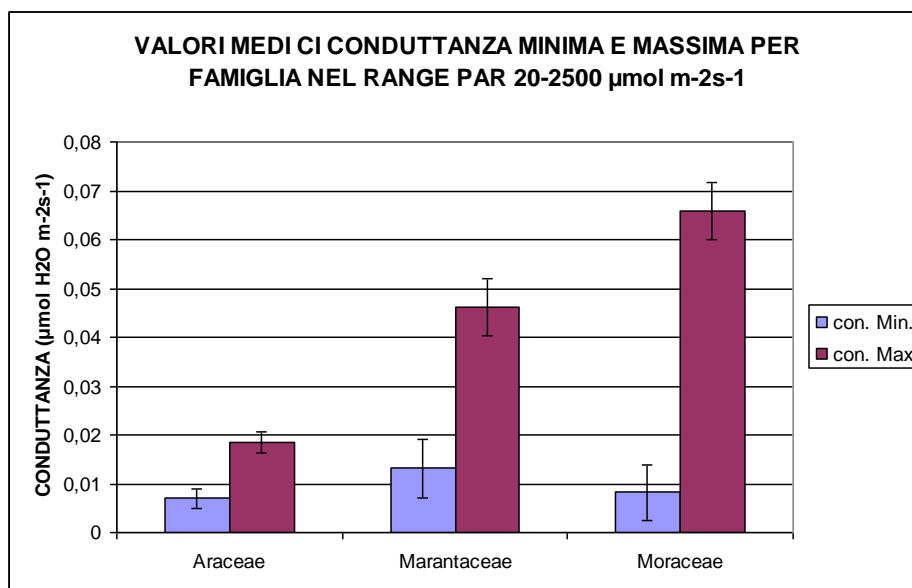


Fig.3 – Andamenti della fotosintesi netta ( $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ) e della conduttanza ( $\text{mol H}_2\text{O m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ) in relazione all'incremento della PAR in *Ficus elastica*.

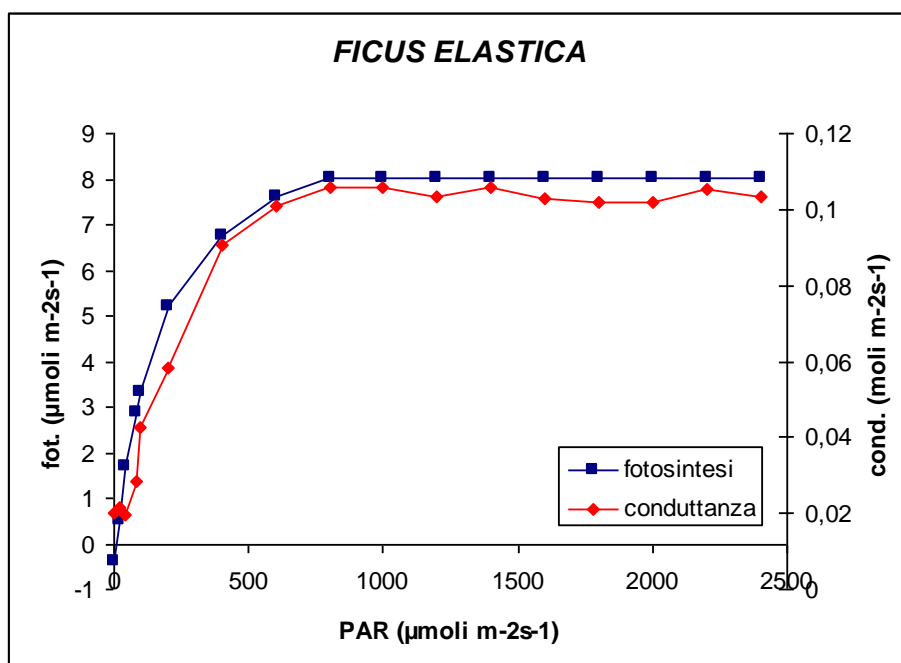


Fig.4 – Andamenti della fotosintesi netta ( $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) e della conduttanza ( $\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) in relazione all'incremento della *PAR* in *Asplenium nidus*; ogni punto deriva dalla media di 9 valori.

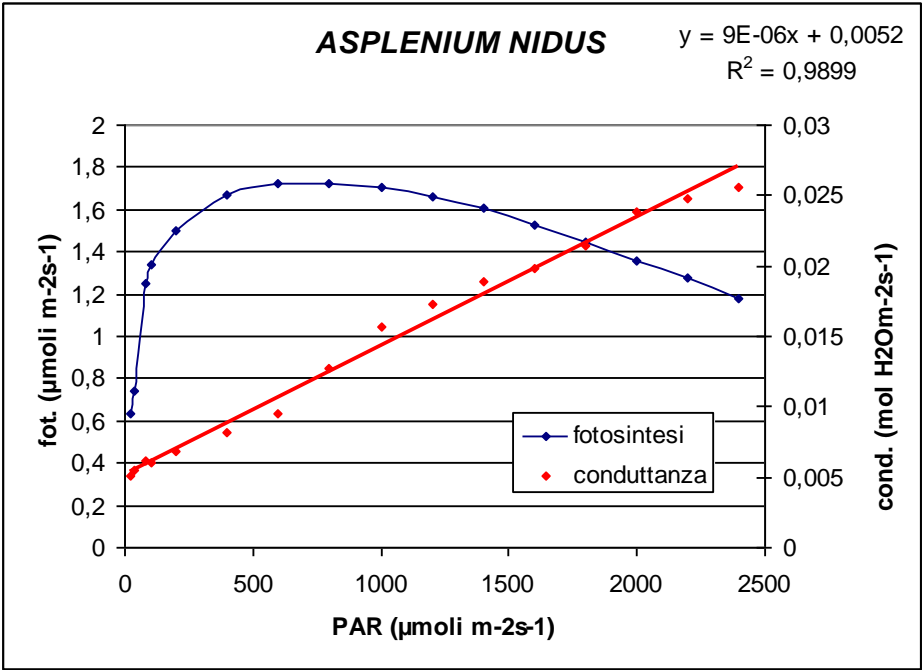


Fig.5 – Andamenti della fotosintesi netta ( $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) e della conduttanza ( $\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) in relazione all'incremento della *PAR* in *Ctenanthe*.

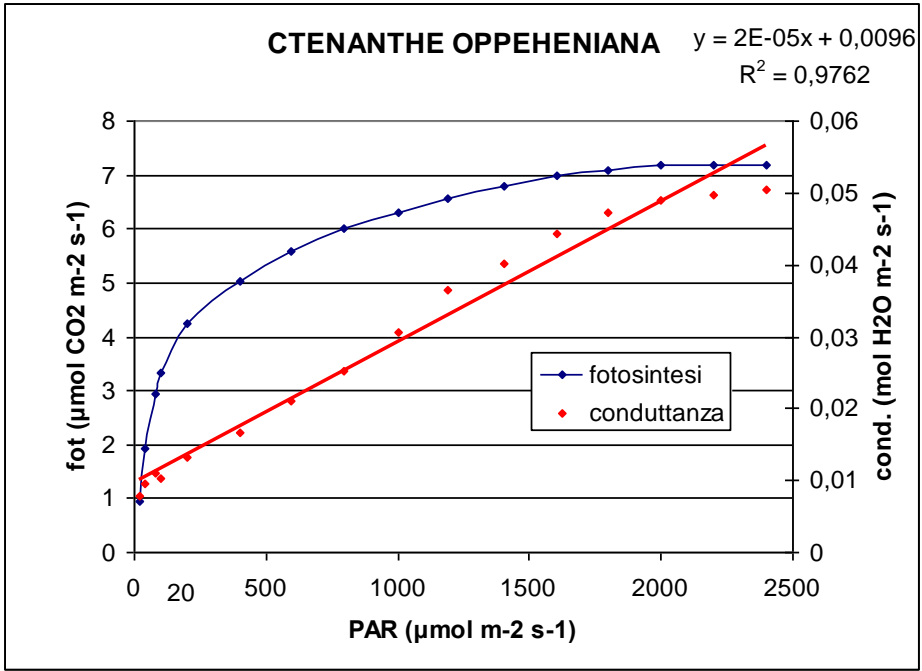
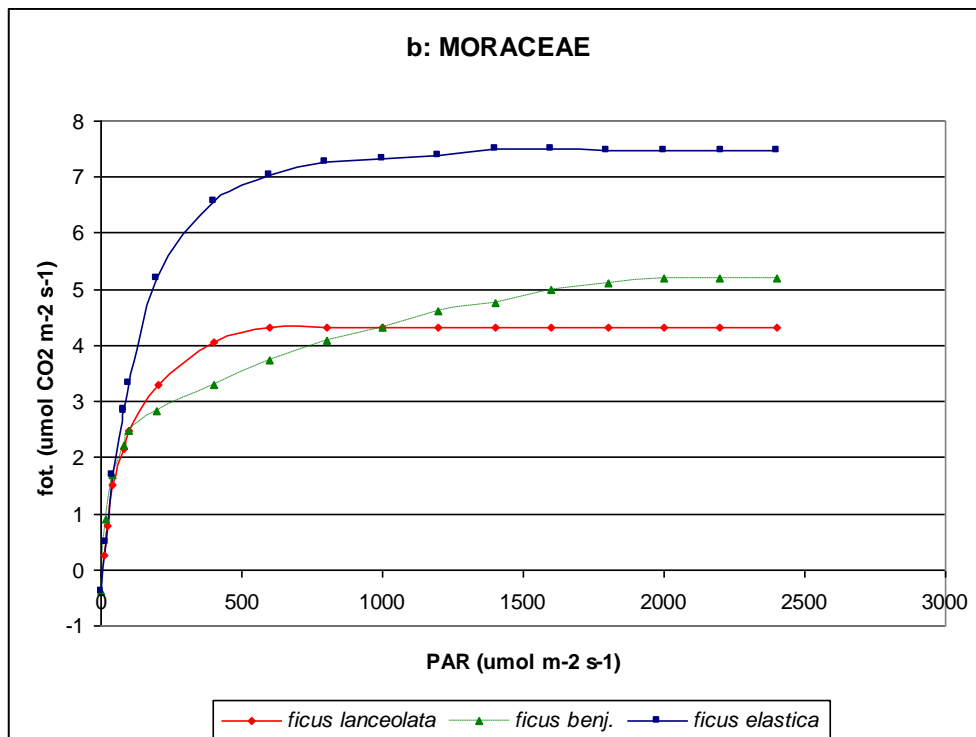
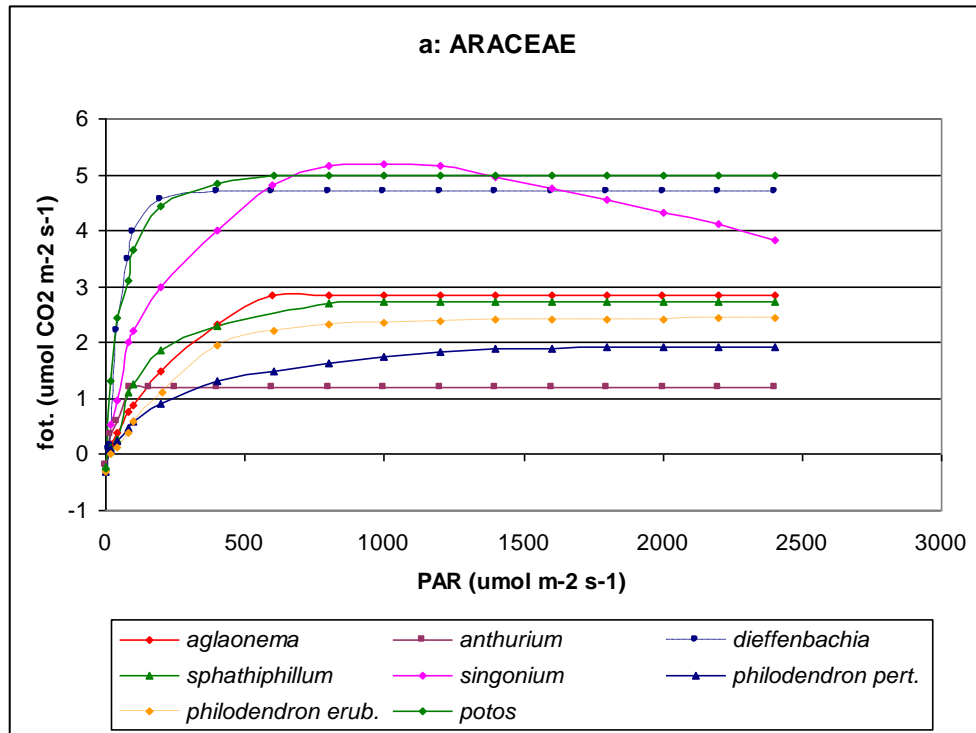
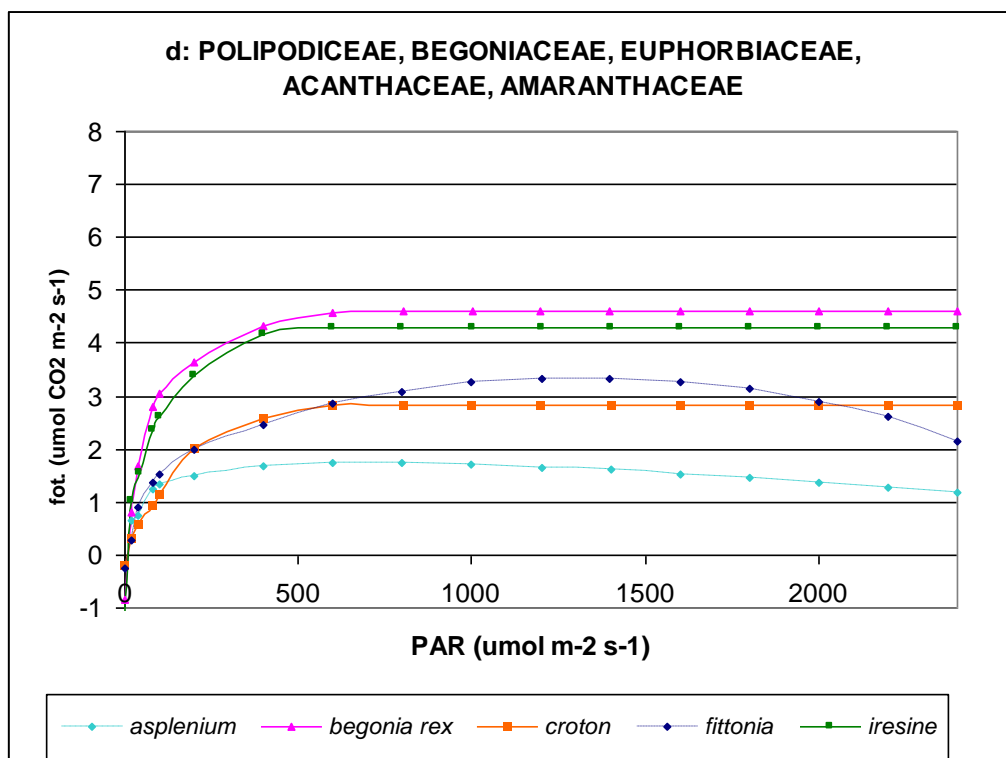
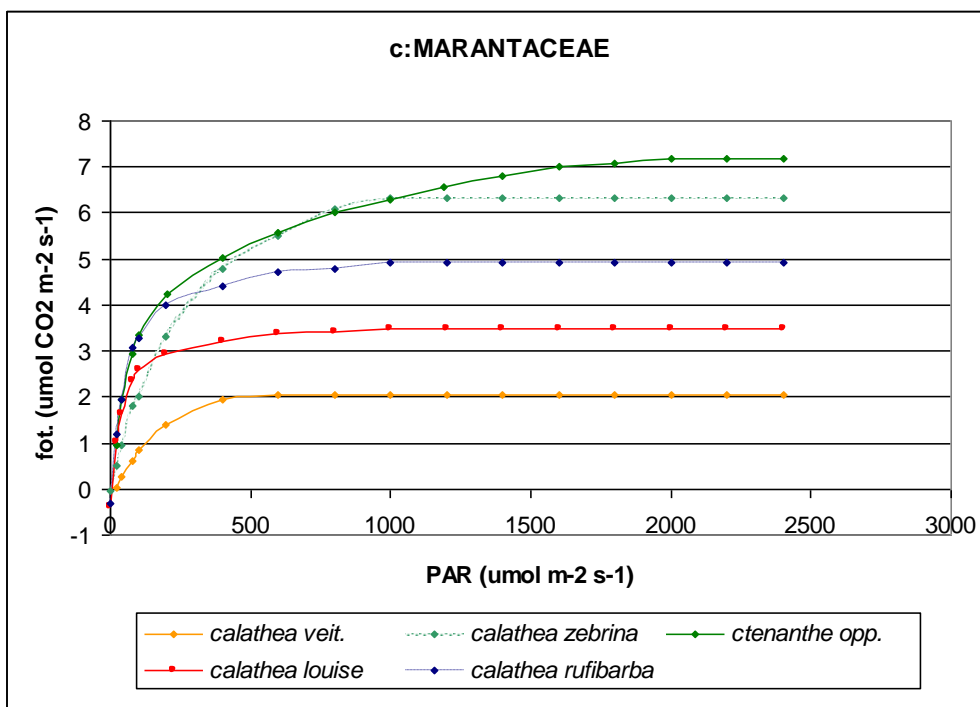


Fig.6 – Andamento della fotosintesi netta ( $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ) in relazione alla *PAR* nelle specie considerate, suddivise per famiglia a: Araceae, b: Moraceae, c: Marantaceae; d: altre famiglie. Ogni curva deriva dal fit di 9 dati/valore di *PAR* ottenuti da 3 serie di misurazioni ad intensità crescente.





Tab. 8. – Parametri caratteristici delle curve di assimilazione delle specie ottenuti dal fit dei dati: A Max= fotosintesi netta massima; s=punto di saturazione; g=punto di compensazione; AQE=efficienza quantica; Rd=respirazione al buio.

<b>SPECIE</b>	<b>A Max</b> $\mu\text{mol CO}_2$ $\text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$	<b>s</b> $\mu\text{mol m}^{-2}$ $\text{s}^{-1}$	<b>g</b> $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$	<b>AQE</b>	<b>Rd</b> $\mu\text{mol CO}_2$ $\text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$
<i>Aglaonema commutatum</i>	2,84	542,4	4,8	0,015	-0,1
<i>Anthurium andreanum</i>	1,20	108,0	6,0	0,033	-0,2
<i>Asplenium nidus</i>	1,77	128,8	5,6	0,053	-0,3
<i>Begonia rex</i>	4,63	441,6	9,6	0,165	-0,9
<i>Calathea louisae</i>	3,95	316,8	4,8	0,119	-0,39
<i>Calathea rufibarba</i>	5,32	422,2	4,8	0,19	-0,3
<i>Calathea veitchiana</i>	2,03	316,8	9,6	0,015	-0,15
<i>Calathea zebrina</i>	6,35	820,8	5,2	0,027	-0,05
<i>Codiaeum variegatum</i>	2,84	456,0	9,6	0,027	-0,2
<i>Ctenanthe oppenheimiana</i>	7,17	684,0	6,0	0,169	-0,6
<i>Dieffenbakia picta</i>	4,68	153,6	7,2	0,007	-0,05
<i>Ficus benjamin</i>	5,95	700,8	4,8	0,091	-0,4
<i>Ficus elastica</i>	8,03	643,2	4,8	0,059	-0,4
<i>Ficus longifolia</i>	4,69	431,6	20,8	0,033	-0,6
<i>Fittonia werschaffeltii</i>	3,44	408,0	9,6	0,057	-0,45
<i>Iresine herbisti</i>	4,29	345,6	14,4	0,117	-1,15
<i>Philodendron erubescens</i>	2,75	508,8	33,6	0,009	-0,3
<i>Philodendron pertusum</i>	2,89	561,6	28,8	0,013	-0,3
<i>Potos aureus</i>	5,26	235,2	4,8	0,087	-0,26
<i>Syngonium podophyllum</i>	5,01	441,6	9,6	0,035	-0,35
<i>Spathiphyllum wallisii</i>	2,93	259,2	9,6	0,029	-0,226

Tab. 9. – Valori massimi di assimilazione (A max) misurati.

<b>A max (<math>\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{s}^{-1}</math>)</b>			
<b>2&lt;</b>	<b>2-4</b>	<b>4-6</b>	<b>&gt;6</b>
ANTHURIUM ANDREANUM	AGLAONEMA COMM.	BEGONIA REX	CALATHEA ZEB.
ASPLENIUM NIDUS	CALATHEA LOUISAE	CALATHEA RUFIBARBA	CTENANTE OPP.
	CALATHEA VEITCHIANA	DIEFFENBAKIA PICTA	FICUS ELASTICA
	CODIAEUM VARIEGATUM	FICUS BENJAMINA	
	FITTONIA VERSCH.	FICUS LONGIFOLIA	
	PHILODENDRON ERUB.	IRESENE HERBISTI	
	PHILODENDRON PER.	POTOS AUREUS	
	SPATHIPHILLUM WALL.	SYNGONIUMN POD.	



Fig. 7 – Classificazione delle specie/cultivar mediante analisi multivariata dei parametri riportati in tabella 8 .

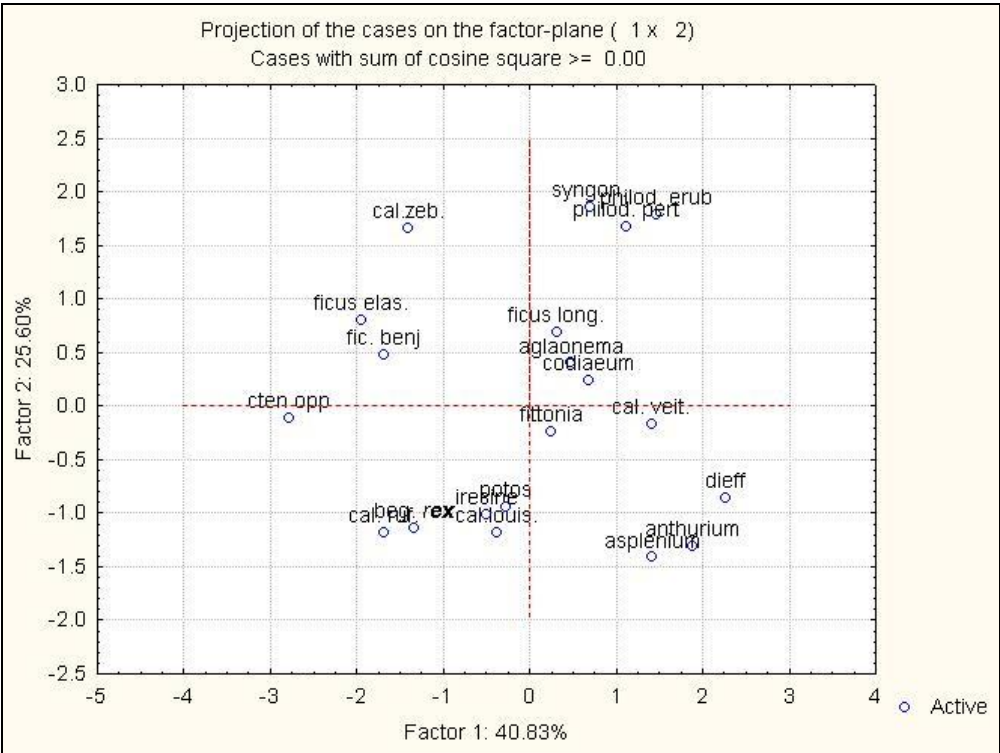
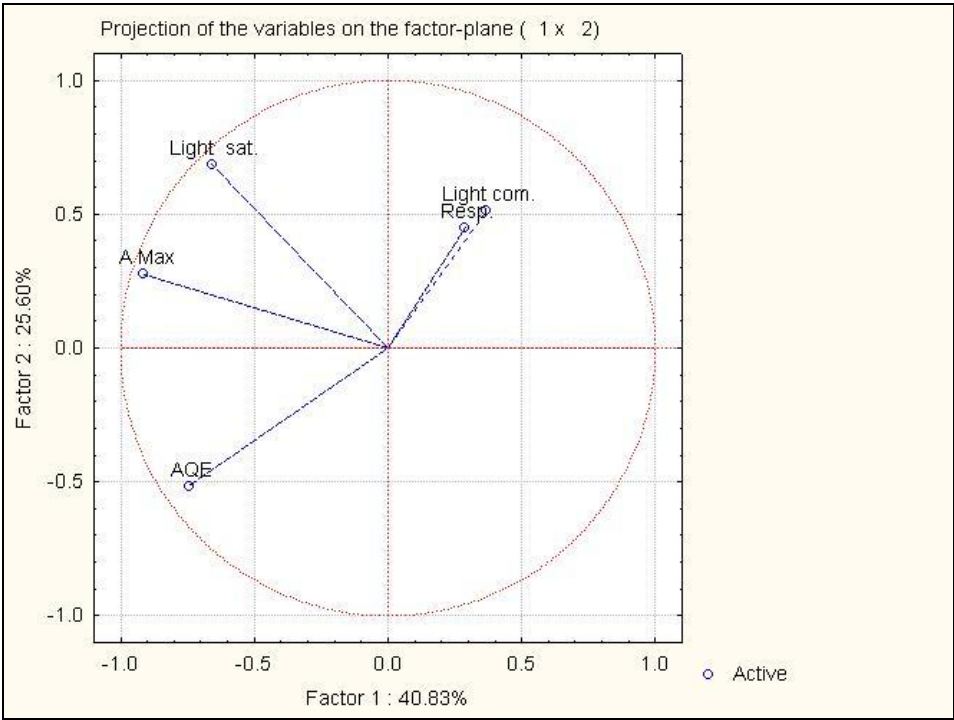


Fig. 8 – Classificazione delle specie/cultivar mediante analisi multivariata dei parametri riportati in tabella 3 .



# INFLUENZA DELLA CONCENTRAZIONE DI CO<sub>2</sub> E DELLA LUCE SUL PROCESSO FOTOSINTETICO DELLE PRINCIPALI SPECIE COLTIVATE PER GLI INTERNI.

## Introduzione

La disponibilità luminosa degli interni risulta uno dei principali fattori limitanti il processo fotosintetico delle piante indoor. I vetri delle finestre possono ridurre a seconda dei materiali di fabbricazione oltre il 50% della radiazione incidente e le lampade comunemente impiegate per l'illuminazione umana anche di sufficiente intensità, non forniscono uno spettro adatto alla pianta. Per molte piante minimi livelli di luminosità che garantiscono un'assimilazione positiva sarebbero raggiunti esclusivamente posizionando le stesse nelle immediate vicinanze delle finestre o molto vicino alle fonti luminose artificiali dove in questo caso si potrebbe incorrere in ustioni sulle foglie per esposizione alla luce diretta (piante a foglia decorativa originarie dei sottoboschi tropicali adattate a luce diffusa). Oltre ad una differente disponibilità di luce negli ambienti confinati rispetto all'esterno un altro parametro molto importante influenzante il processo fotosintetico è il differente livello di concentrazione di anidride carbonica che si ha negli stessi. I livelli ordinari di concentrazione atmosferica (380-400 ppm) in seguito alla presenza continuata delle persone subiscono un repentino aumento fino al raddoppio dei livelli in funzione del numero degli occupanti delle stanze e delle ore di soggiorno negli interni. In mancanza di fonti bibliografiche che distinguono l'incidenza di queste due variabili, disponibilità luminosa e concentrazione di CO<sub>2</sub> sull'attività fotosintetica delle principali piante coltivate negli interni lo scopo di questa prova è stato valutare tali effetti al fine di determinare quali dei due parametri possa essere considerato il fattore maggiormente limitante la fotosintesi.

## Materiali e metodi

La fotosintesi è stata rilevata impiegando un analizzatore fotosintetico portatile (LI-6400XT). La prova è stata condotta su *Aglaonema commutatum* "Silver Queen", *Anthurium andreaeanum* "Dakota", *Asplenium nidus*, *Begonia rex*, *Calathea louise*, *Calathea rufibarba*, *Calathea veitchiana*, *Codiaeum variegatum* "Icetone", *Ctenanthe oppenheimiana* "Golden Mosaic", *Dieffenbachia picta* "Camilla", *Ficus beniamina* "Starlight", *Ficus elastica* "Ruby", *Ficus longifolia* "Amstel Queen", *Philodendron erubescens* "Red Emerald", *Philodendron pertusum*, *Potos aureus*, *Syngonium podophyllum* "Maya Red", *Spathiphyllum wallisi* "Mauna Loa". Le piante hanno seguito un periodo di ambientamento della durata di un mese in camera di crescita ad una temperatura di 25±2°C e un umidità relativa del 75-85% sotto lampade spot OSRAM FLORASET-P 80W, fornenti una PAR di 15-20  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  nella parte superiore delle chiome. Tale luminosità è quella presente mediamente in uffici dotati di una buona illuminazione artificiale. I livelli di concentrazione di

anidride carbonica per i quali sono state rilevate le attività fotosintetiche sono di 400ppm e 800ppm, corrispondenti alla concentrazione atmosferica ordinaria e alla concentrazione mediamente presente in un ufficio lavorativo di 12 m<sup>2</sup> occupato da tre persone dopo 6 ore lavorative. Per ogni singola specie sono stati eseguiti tre rilievi dell'attività fotosintetica alle due concentrazioni di CO<sub>2</sub> a PAR di 10,20,40,80,100,200  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ . Sono state messe a confronto le due curve di luce per ogni singola specie.

## Risultati e considerazioni

L'andamento dell'attività fotosintetica è risultato proporzionale alla concentrazione di anidride carbonica solo per PAR superiori alle 10  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ . A parte le specie *Ficus beniamina*, *Ficus elastica* e *Syngonium podophyllum* (figg. 21, 22, 29) per le quali anche PAR 10 comporta una differenza di assimilazione netta, per tutte le altre l'attività fotosintetica è esclusivamente influenzata dalla disponibilità luminosa (fig.31). Per PAR superiori, passando da una concentrazione di 400 a 800 ppm di CO<sub>2</sub> la fotosintesi incrementa più che proporzionalmente e a PAR 200 20 specie mostrano un significativo incremento della assimilazione netta (fig.32). In *Begonia rex*, *Calathea veitchiana*, *Codiaeum variegatum*, questa è il doppio con rispettivamente; 3.26 e 6.67  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  di carbonio organicato alle due concentrazioni di CO<sub>2</sub> per *Begonia rex*, 1.34 e 3.48  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  per *Calathea veitchiana*, 1.55 e 3.07  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  per *Codiaeum variegatum* (figg. 13,17,18,32). Solo per la polipodiacea *Asplenium nidus* (fig. 12) le concentrazioni di CO<sub>2</sub> indagate non sembrano influenzare significativamente l'andamento fotosintetico mantenendosi dei valori di assimilazione molto simili per tutte le PAR considerate e con una fotosintesi netta totale media di 0.32 e 0.37  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  a 400 e 800 ppm di CO<sub>2</sub>. Se si considera che la collocazione delle piante negli interni può non essere prossima alle finestre dove già a 1.5m di distanza la PAR disponibile è inferiore a 10  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  e se si tiene conto che una comune lampada da 60w oltre i 15 cm di distanza dal bulbo fornisce una PAR di circa 10-15  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  è possibile affermare in queste condizioni che per la sopravvivenza delle piante nelle abitazioni il principale fattore limitante è rappresentato dalla luce. L'incremento della concentrazione della anidride carbonica dovuto principalmente alla respirazione dell'uomo non favorisce nessun incremento all'attività fotosintetica se non accompagnato da una disponibilità luminosa superiore alle 10  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ . Dove la realizzazione di spazi adibiti al verde indoor prevede il posizionamento di apposite lampade per la crescita dei vegetali come quelle GROWLUX, ad una PAR media di 200  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  un innalzamento della concentrazione di anidride carbonica atmosferica intorno ad 800 ppm può provocare un incremento dell'attività fotosintetica media delle piante di circa il 30% (dato in riferimento alle specie valutate).

Fig. 10 – Andamenti della fotosintesi netta ( $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) in relazione all'incremento della PAR alle concentrazioni di 400 e 500 ppm di  $\text{CO}_2$  in *Aglaonema commutatum*.

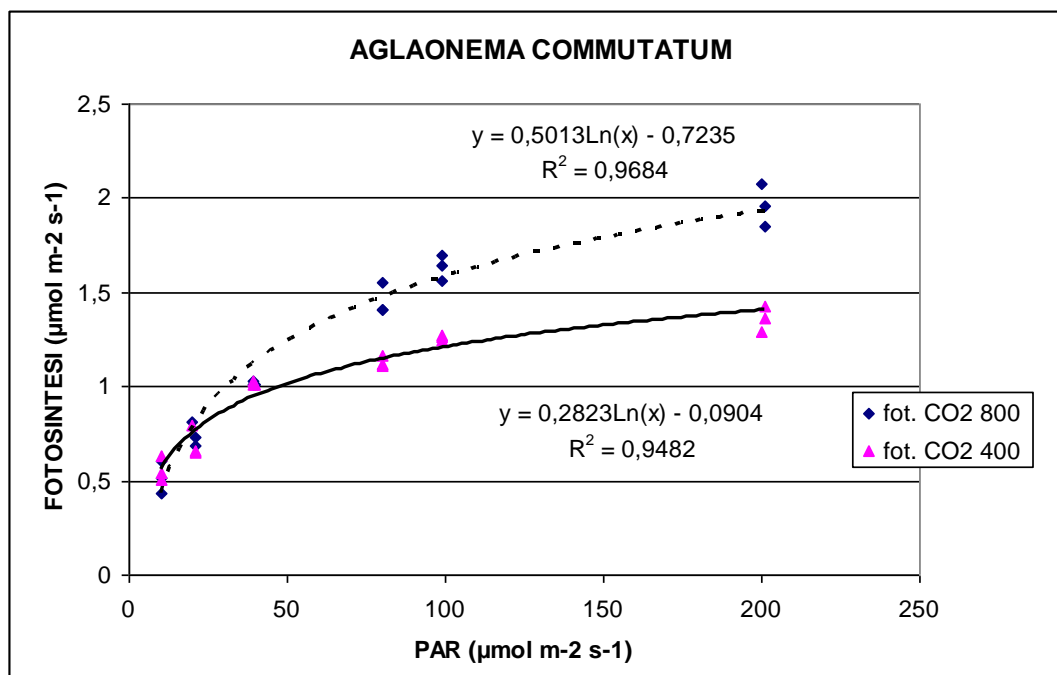


Fig. 11 – Andamenti della fotosintesi netta ( $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) in relazione all'incremento della PAR alle concentrazioni di 400 e 500 ppm di  $\text{CO}_2$  in *Anthurium andreanum*.

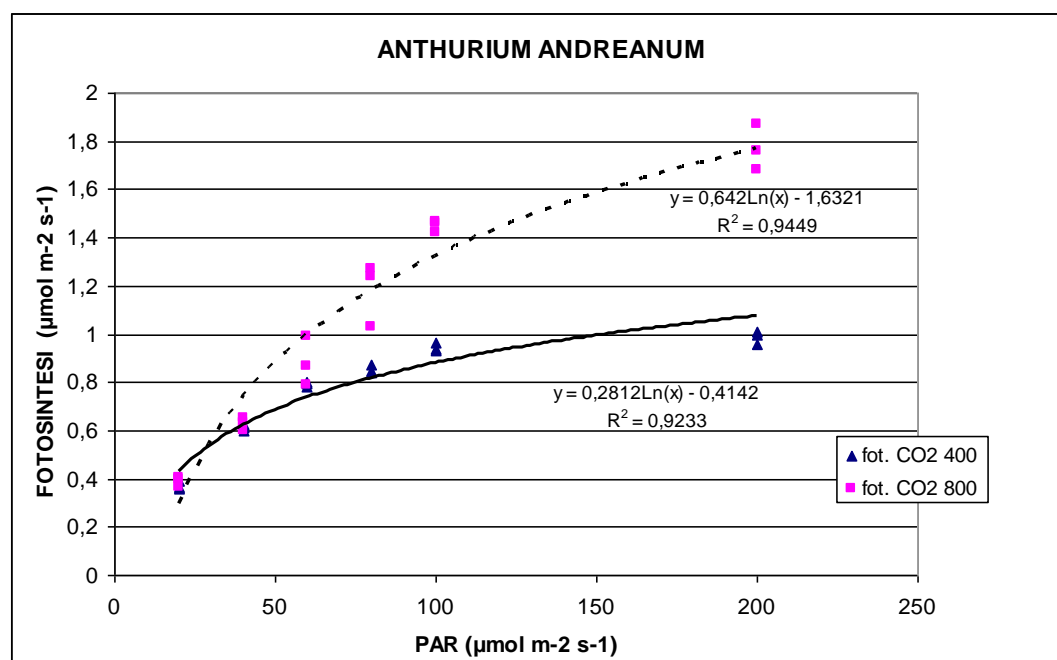


Fig. 12 – Andamenti della fotosintesi netta ( $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) in relazione all'incremento della PAR alle concentrazioni di 400 e 500 ppm di  $\text{CO}_2$  in *Asplenium nidus*.

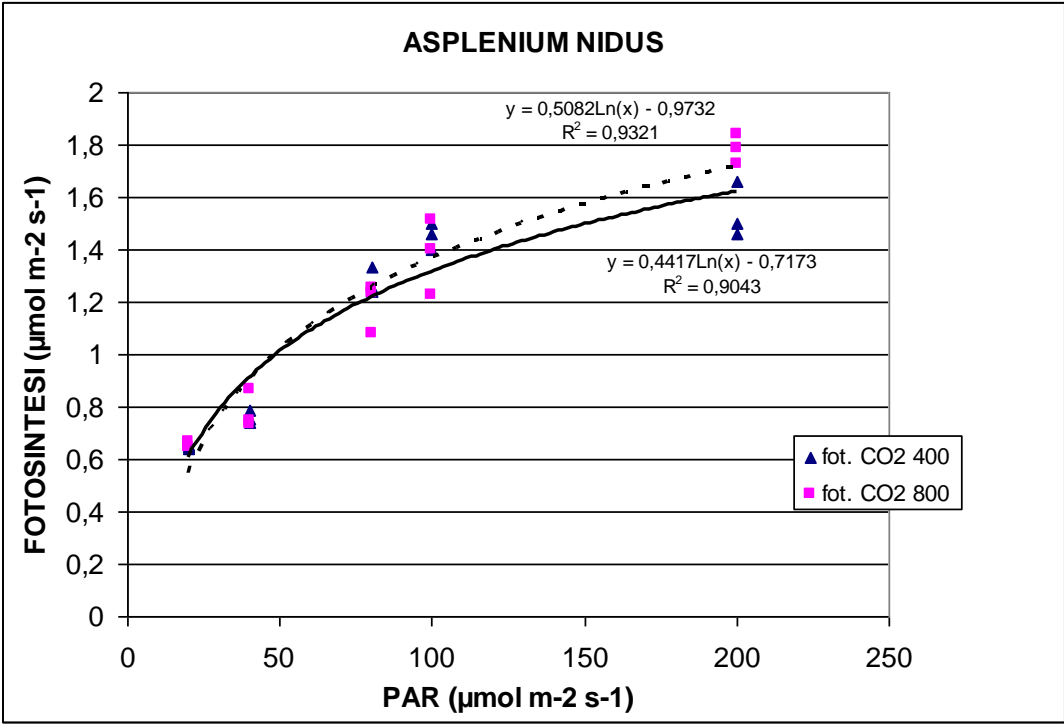


Fig. 13 – Andamenti della fotosintesi netta ( $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) in relazione all'incremento della PAR alle concentrazioni di 400 e 500 ppm di  $\text{CO}_2$  in *Begonia rex*.

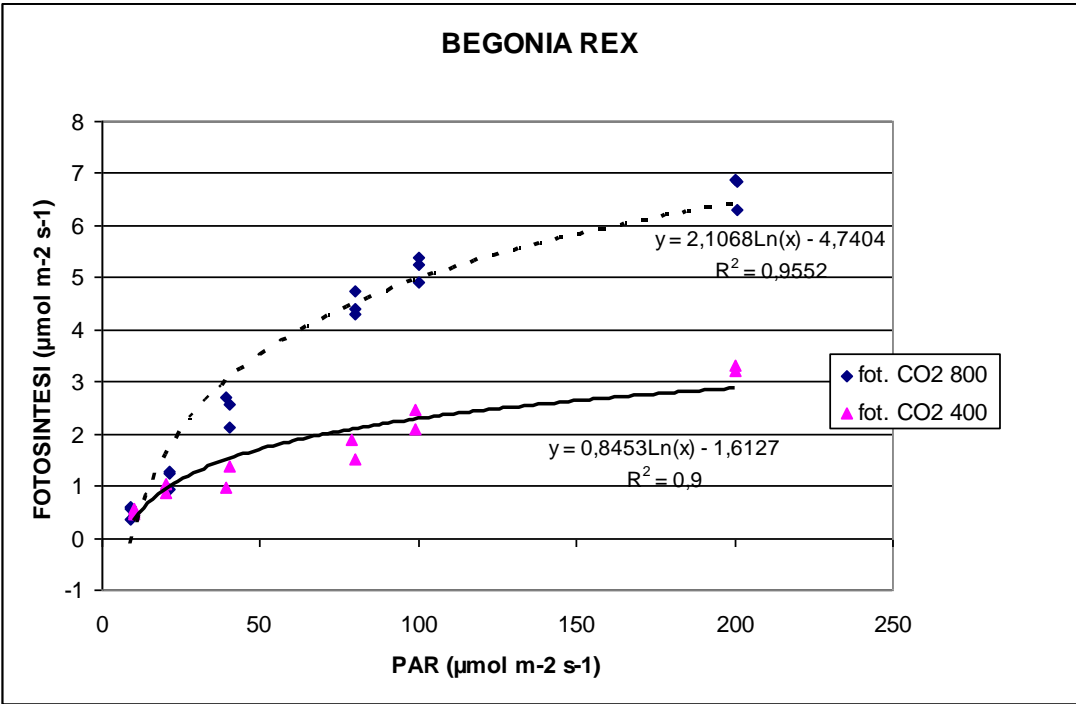


Fig. 14 – Andamenti della fotosintesi netta ( $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) in relazione all'incremento della PAR alle concentrazioni di 400 e 500 ppm di  $\text{CO}_2$  in *Calathea louise*.

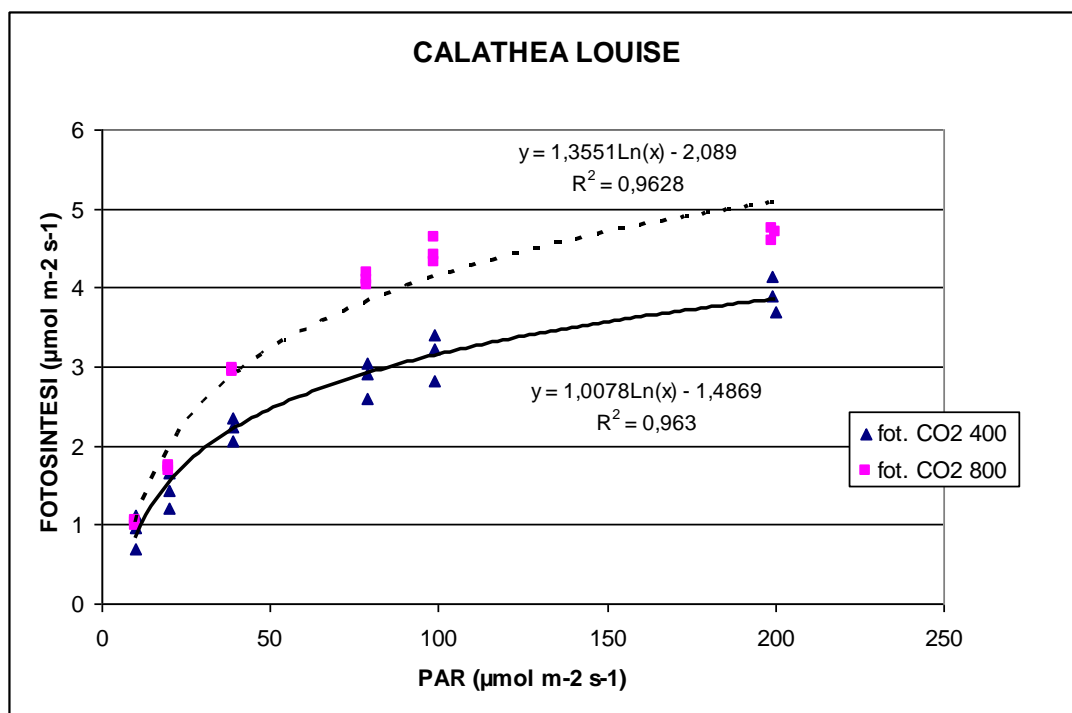


Fig.15 – Andamenti della fotosintesi netta ( $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) in relazione all'incremento della PAR alle concentrazioni di 400 e 500 ppm di  $\text{CO}_2$  in *Calathea rufibarba*.

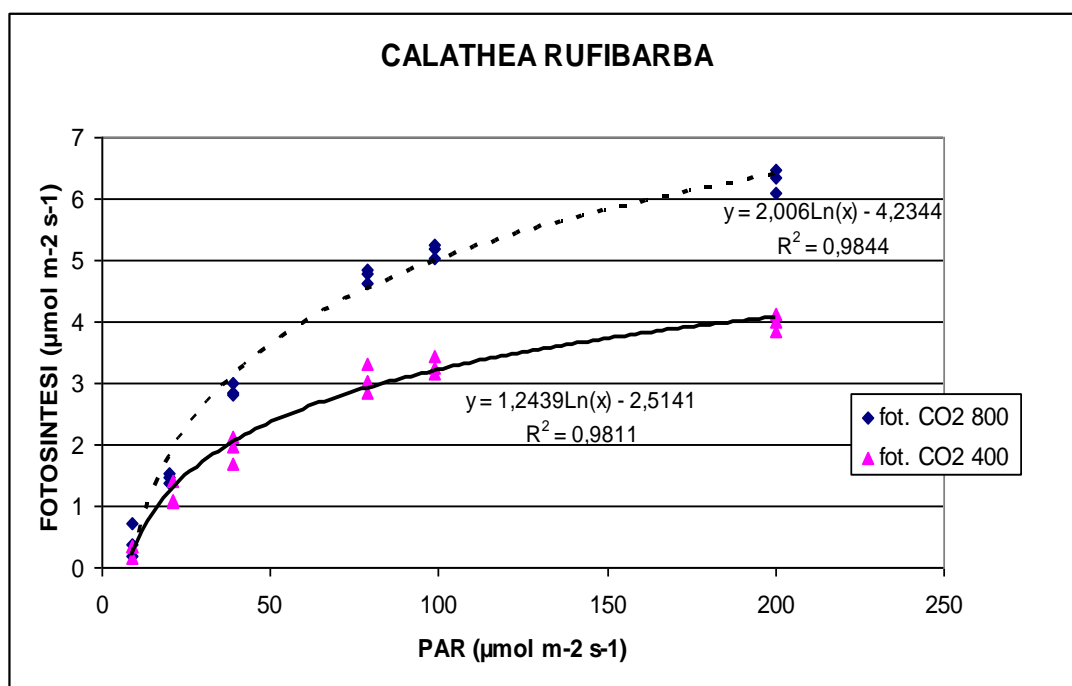


Fig. 16 – Andamenti della fotosintesi netta ( $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) in relazione all'incremento della PAR alle concentrazioni di 400 e 500 ppm di  $\text{CO}_2$  in *Calathea zebrina*.

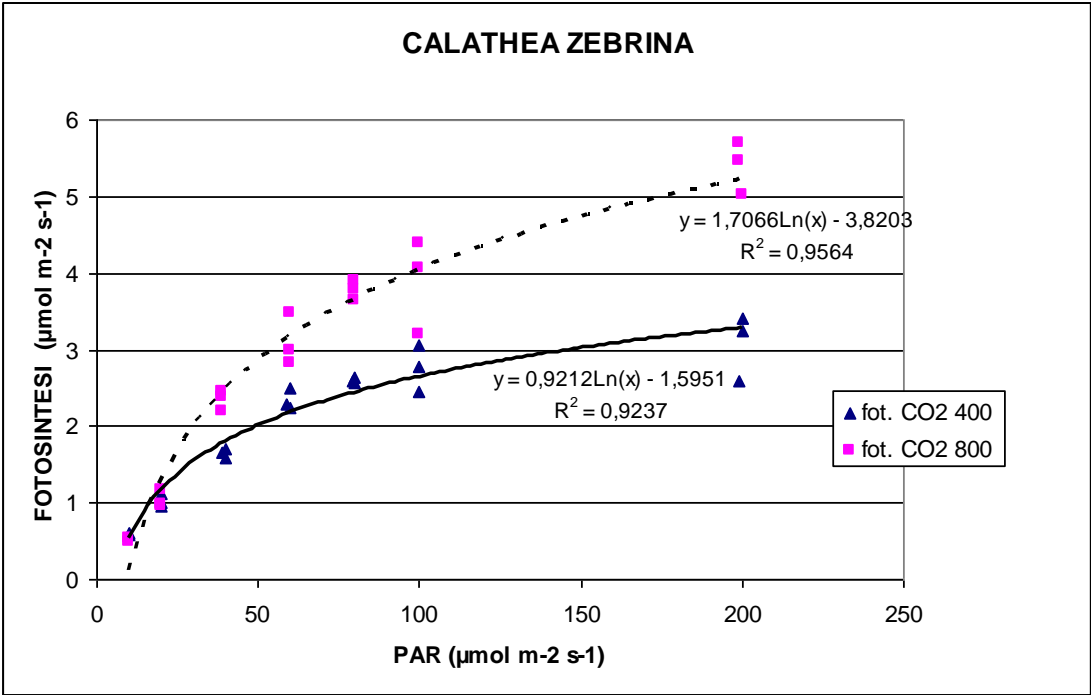


Fig. 17 – Andamenti della fotosintesi netta ( $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) in relazione all'incremento della PAR alle concentrazioni di 400 e 500 ppm di  $\text{CO}_2$  in *Calathea veitchiana*.

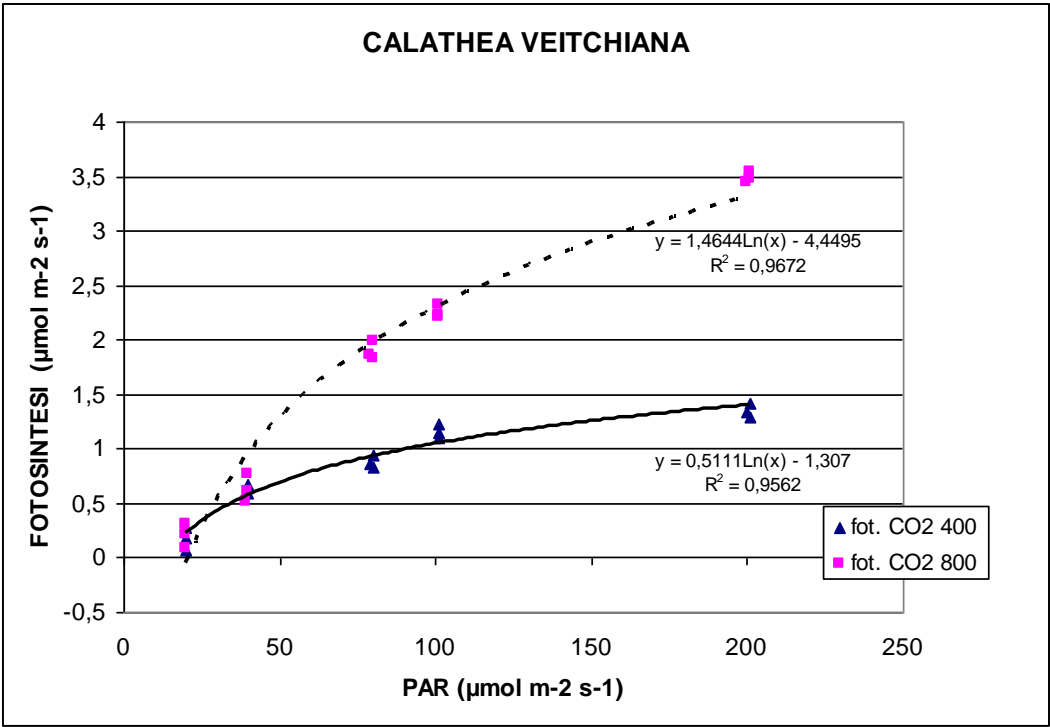


Fig. 18 – Andamenti della fotosintesi netta ( $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) in relazione all'incremento della PAR alle concentrazioni di 400 e 500 ppm di  $\text{CO}_2$  in *Codiaeum variegatum*.

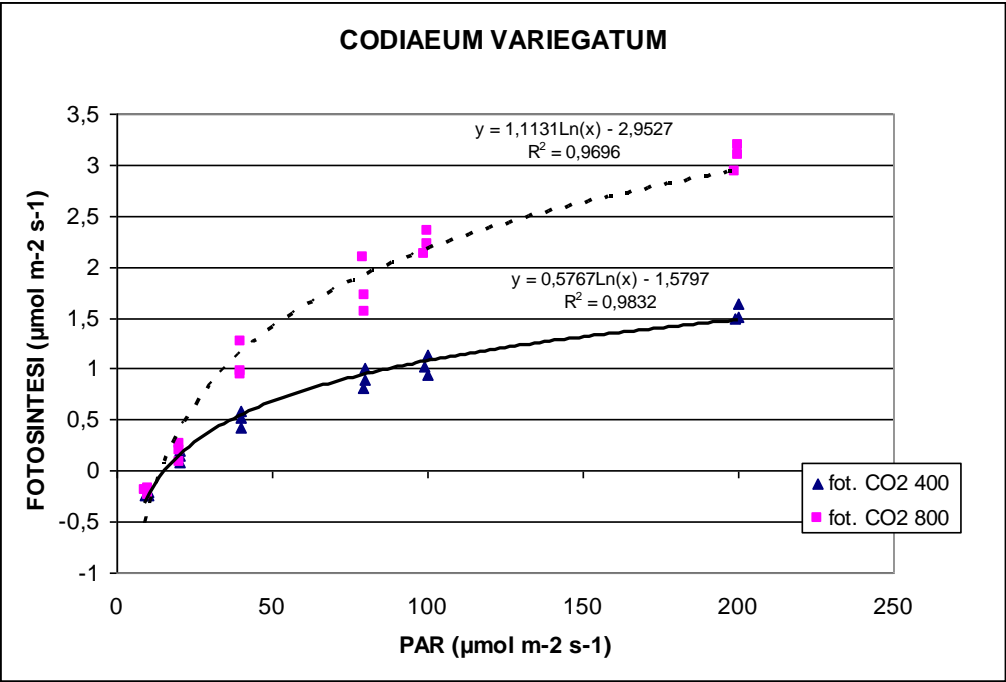


Fig. 19 – Andamenti della fotosintesi netta ( $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) in relazione all'incremento della PAR alle concentrazioni di 400 e 500 ppm di  $\text{CO}_2$  in *Ctenanthe oppenheimiana*.

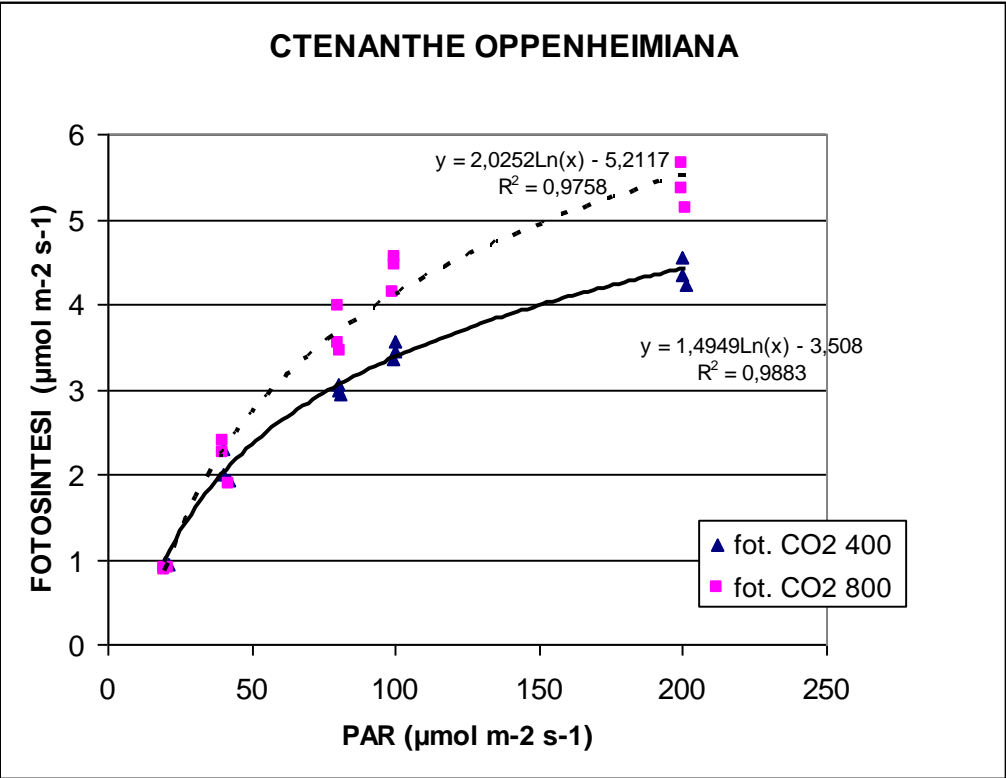




Fig. 20 – Andamenti della fotosintesi netta ( $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) in relazione all'incremento della PAR alle concentrazioni di 400 e 500 ppm di  $\text{CO}_2$  in *Dieffenbachia picta*.

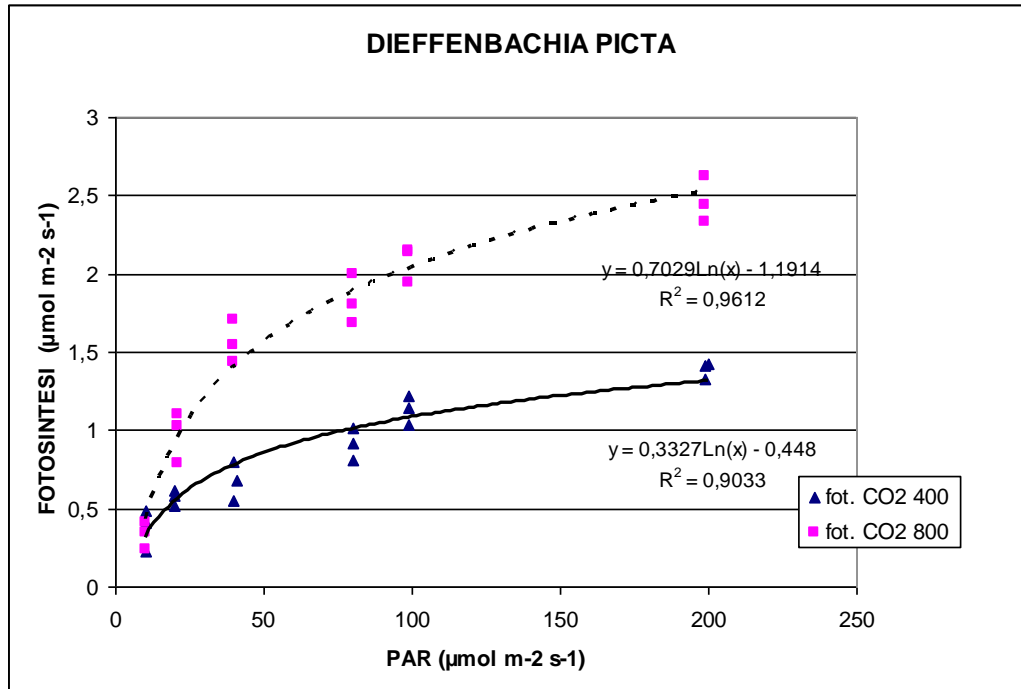


Fig. 21 – Andamenti della fotosintesi netta ( $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) in relazione all'incremento della PAR alle concentrazioni di 400 e 500 ppm di  $\text{CO}_2$  in *Ficus benjamina*.

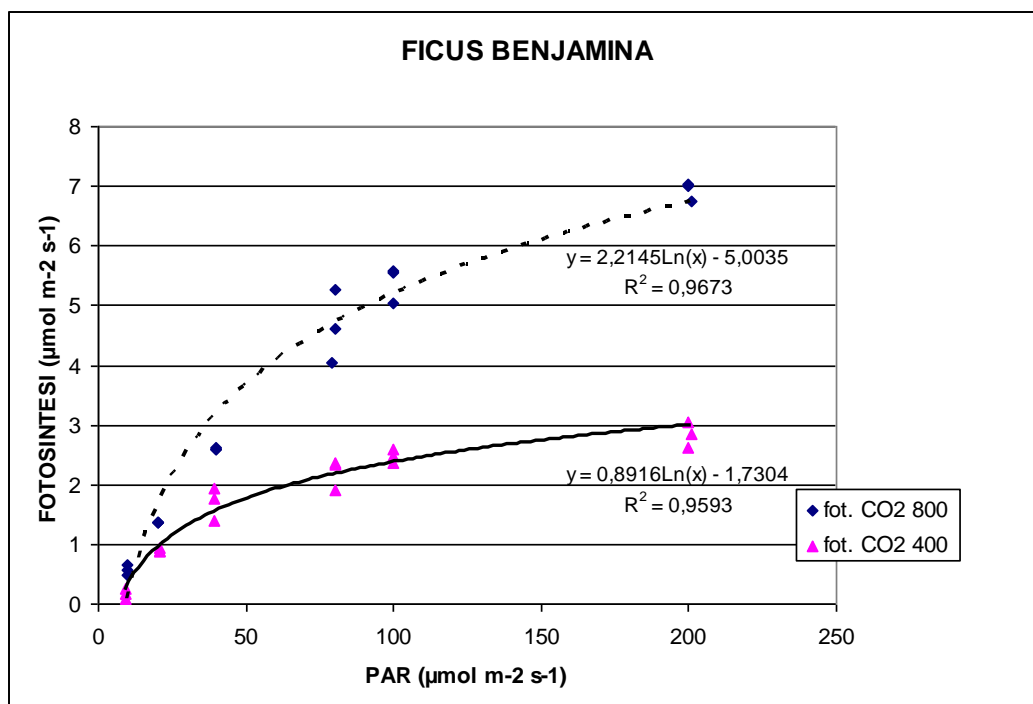


Fig. 22 – Andamenti della fotosintesi netta ( $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) in relazione all'incremento della PAR alle concentrazioni di 400 e 500 ppm di  $\text{CO}_2$  in *Ficus elastica*.

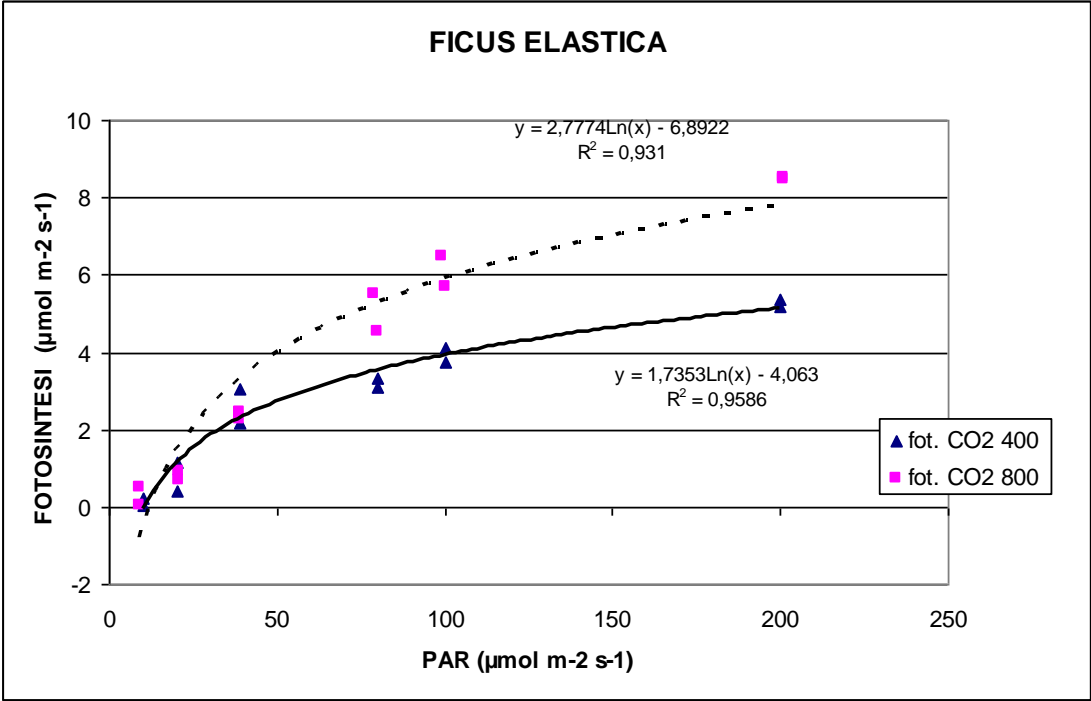


Fig. 23 – Andamenti della fotosintesi netta ( $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) in relazione all'incremento della PAR alle concentrazioni di 400 e 500 ppm di  $\text{CO}_2$  in *Ficus longifolia*.

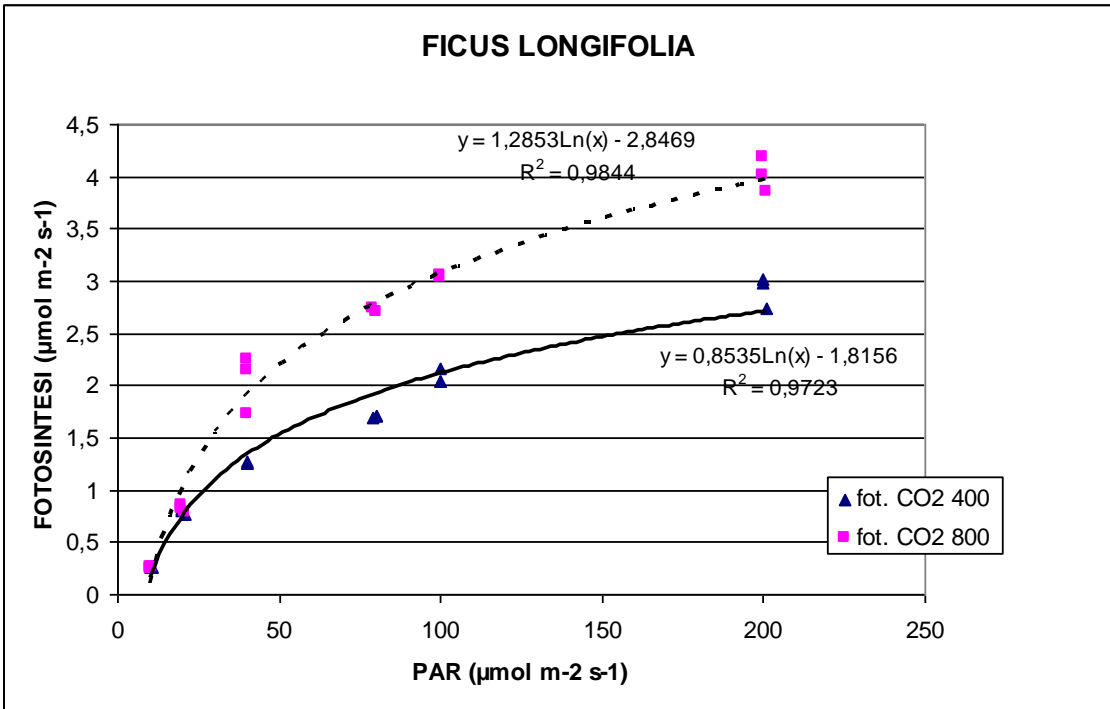


Fig. 24 – Andamenti della fotosintesi netta ( $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) in relazione all'incremento della PAR alle concentrazioni di 400 e 500 ppm di  $\text{CO}_2$  in *Fittonia verschaffeltii*.

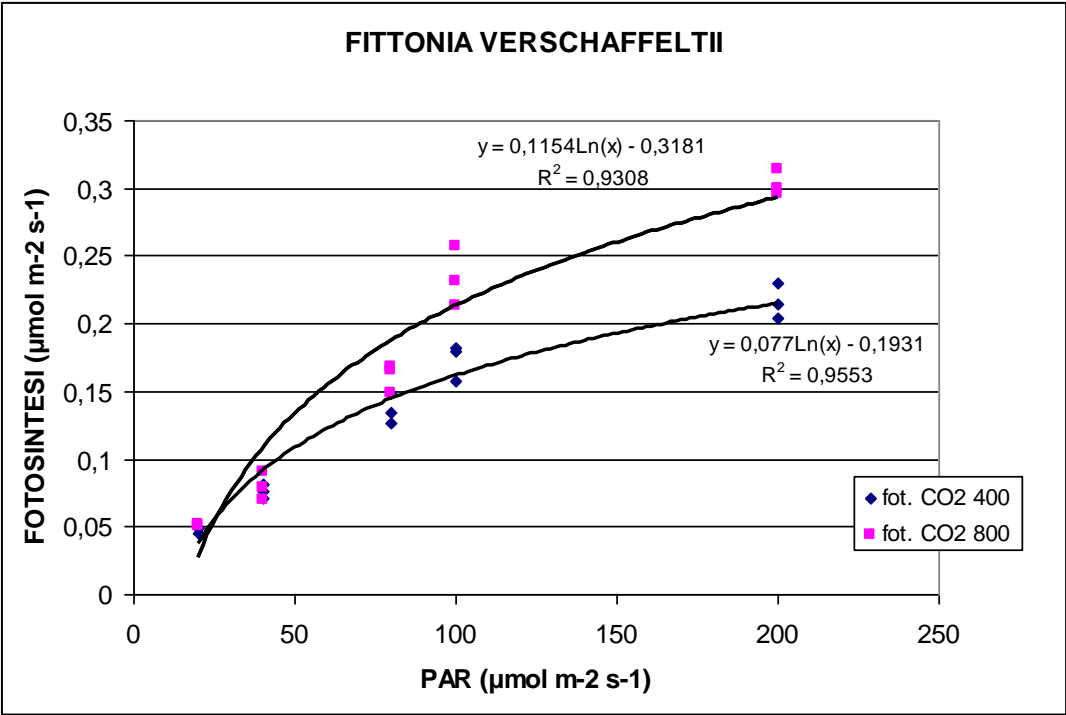


Fig. 25 – Andamenti della fotosintesi netta ( $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) in relazione all'incremento della PAR alle concentrazioni di 400 e 500 ppm di  $\text{CO}_2$  in *Iresine herbistii*.

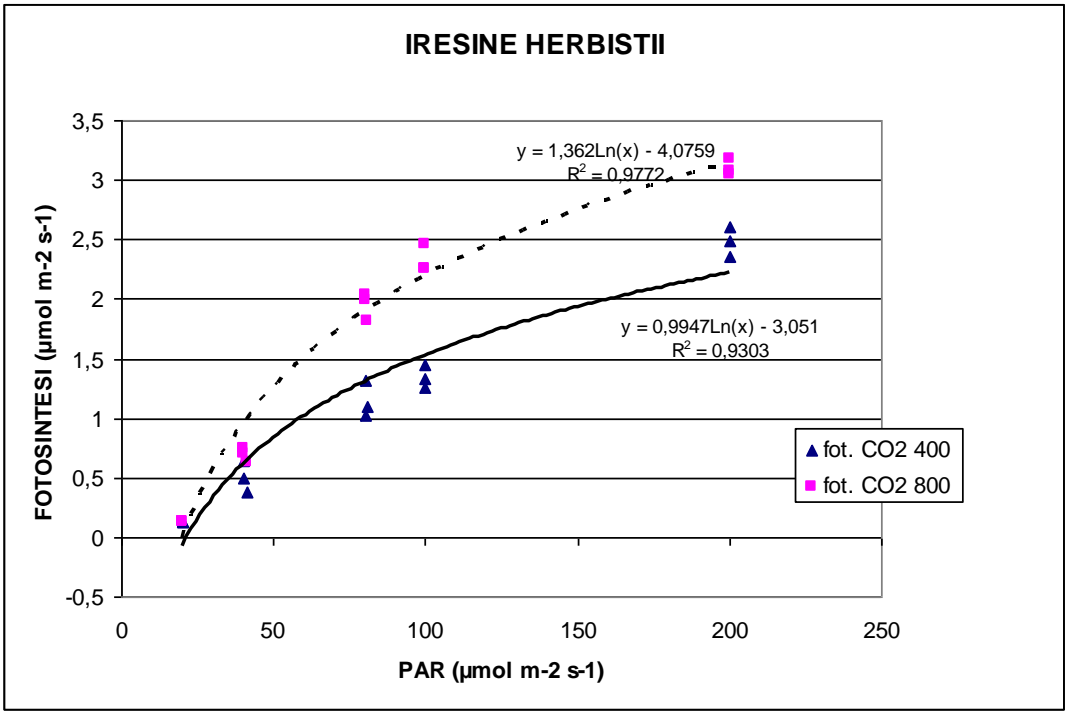


Fig. 26 – Andamenti della fotosintesi netta ( $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) in relazione all'incremento della PAR alle concentrazioni di 400 e 500 ppm di  $\text{CO}_2$  in *Philodendron erubescens*.

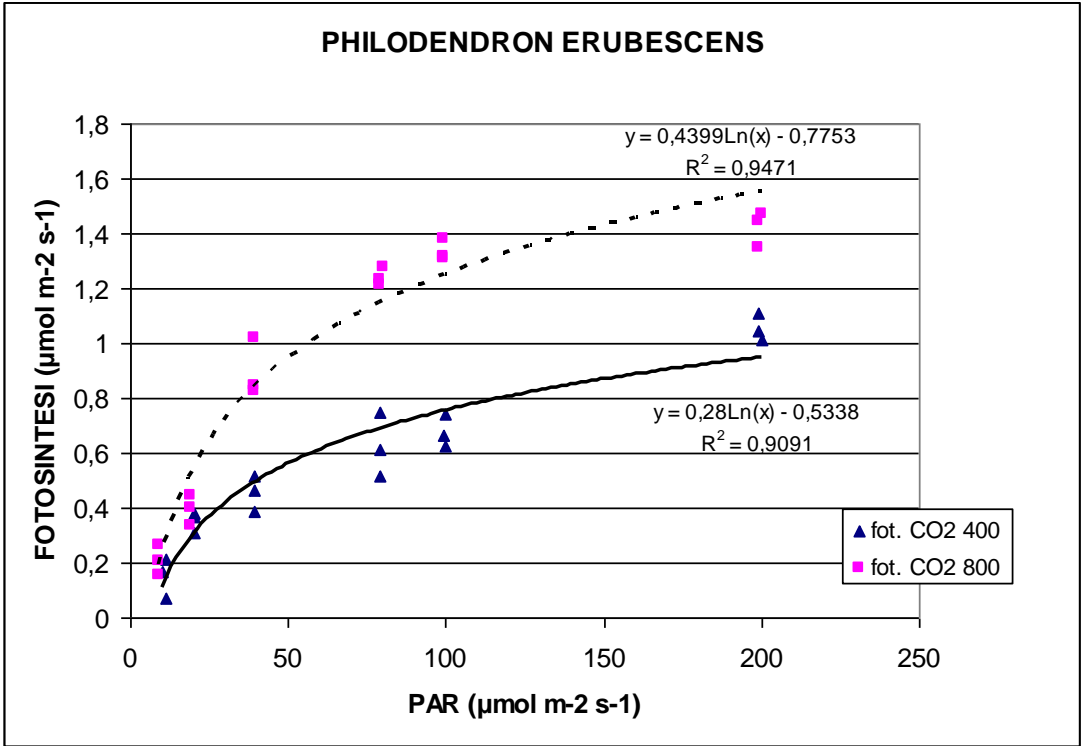


Fig. 27 – Andamenti della fotosintesi netta ( $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) in relazione all'incremento della PAR alle concentrazioni di 400 e 500 ppm di  $\text{CO}_2$  in *Philodendron pertusum*.

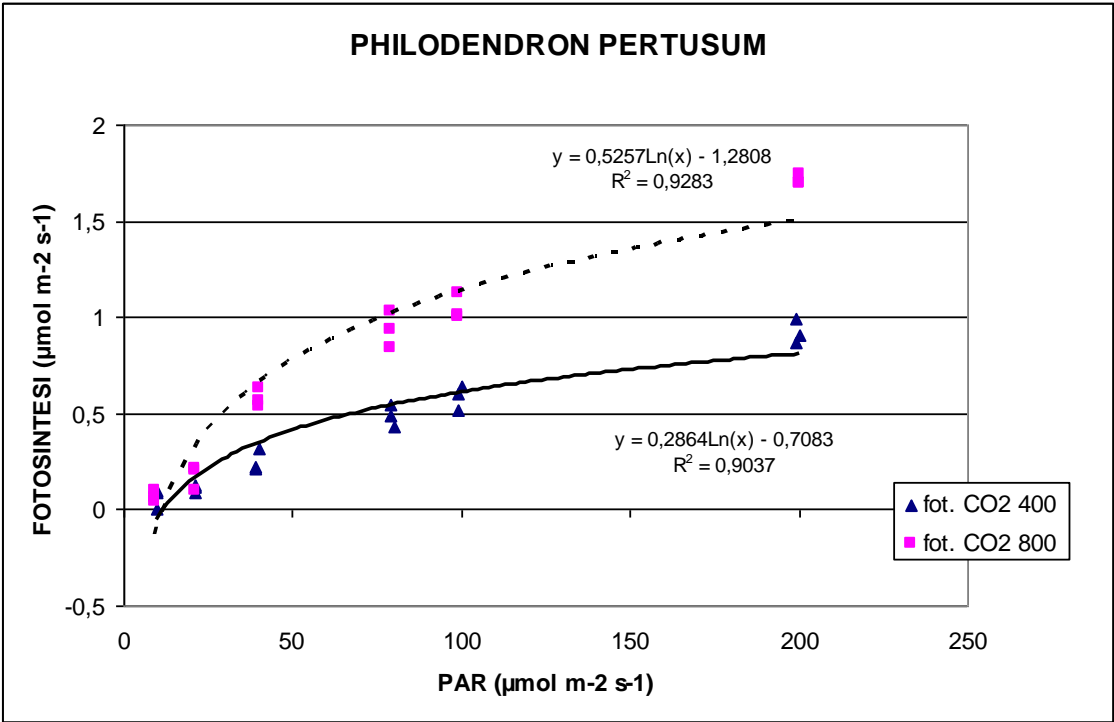


Fig. 28 – Andamenti della fotosintesi netta ( $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) in relazione all'incremento della PAR alle concentrazioni di 400 e 500 ppm di  $\text{CO}_2$  in *Potos aureus*.

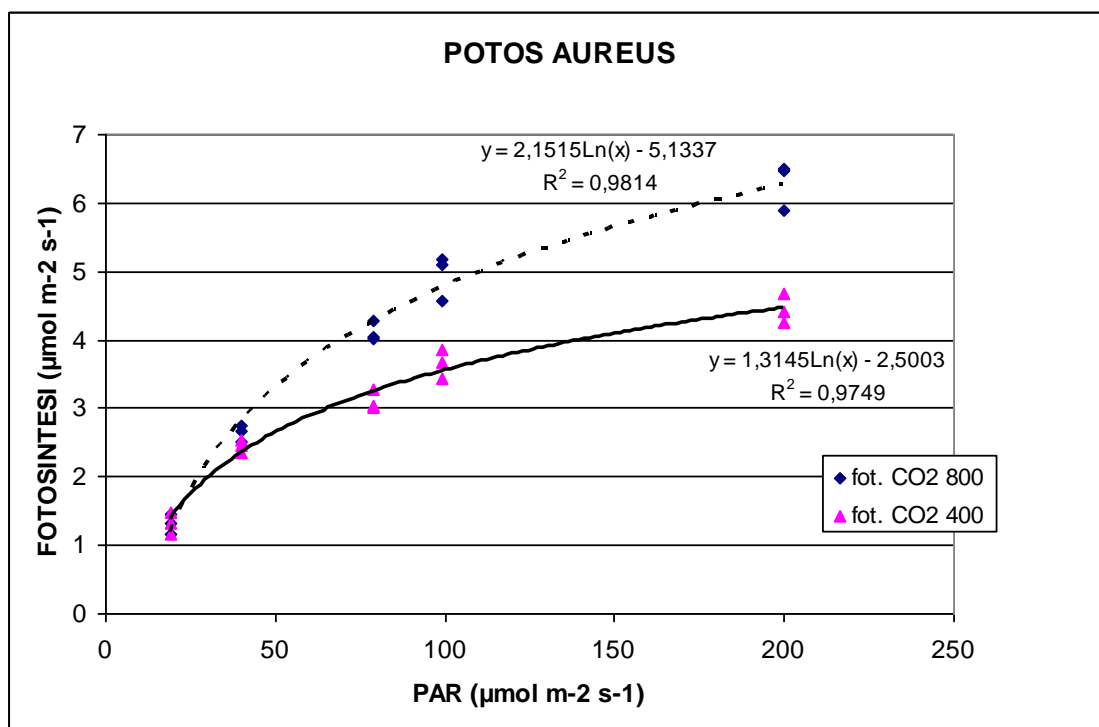


Fig. 29 – Andamenti della fotosintesi netta ( $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) in relazione all'incremento della PAR alle concentrazioni di 400 e 500 ppm di  $\text{CO}_2$  in *Syngonium podophyllum*.

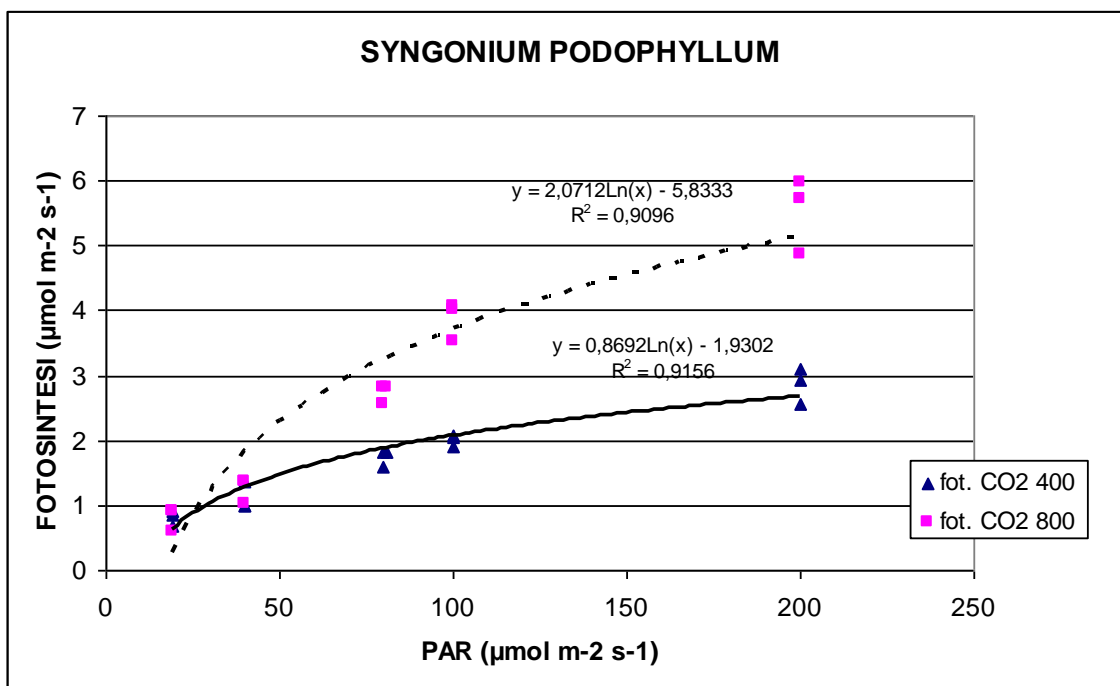


Fig. 30 – Andamenti della fotosintesi netta ( $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) in relazione all'incremento della PAR alle concentrazioni di 400 e 500 ppm di  $\text{CO}_2$  in *Spathiphillum wallisi*.

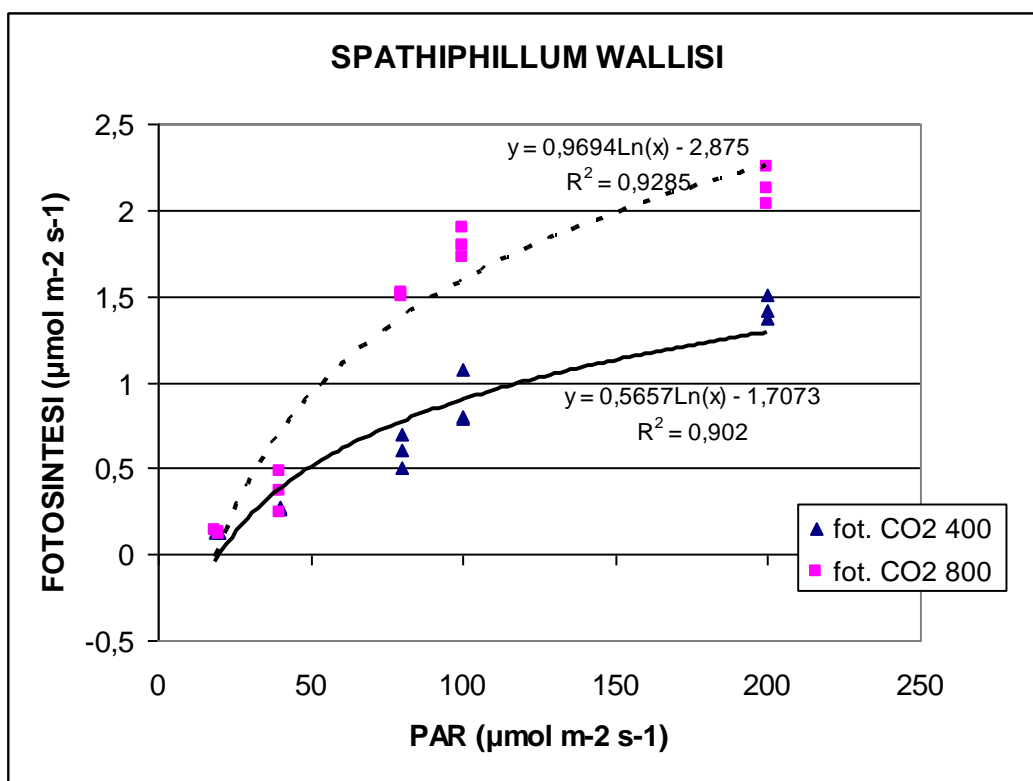


Fig. 31 – Interazione specie \*  $\text{CO}_2$  (400 e 800ppm) delle specie analizzate a PAR di  $10 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ .

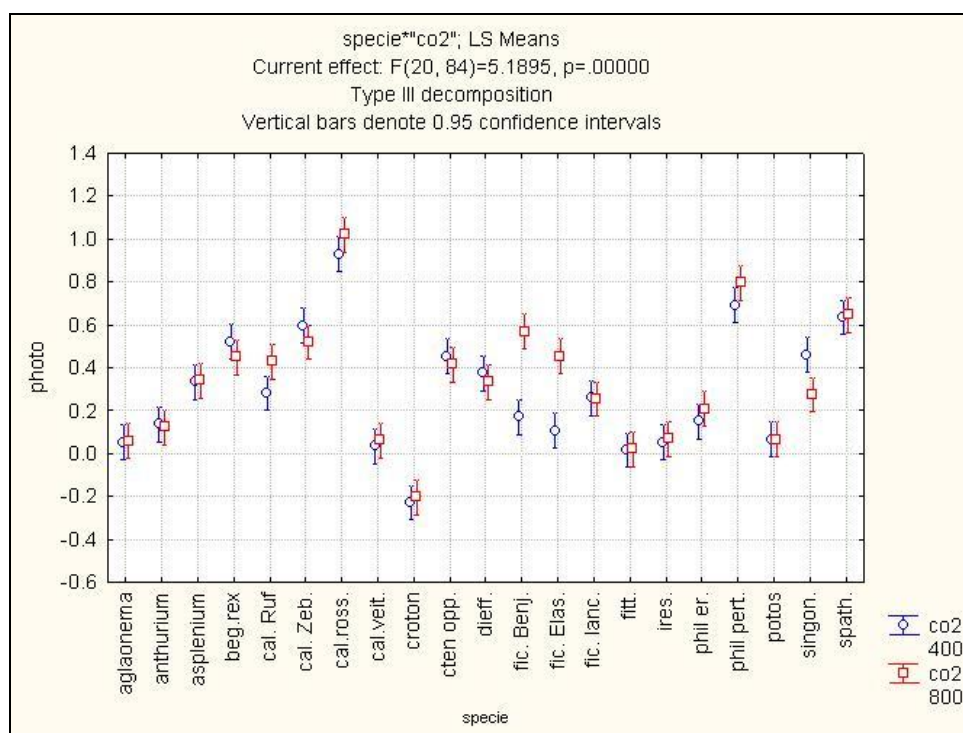
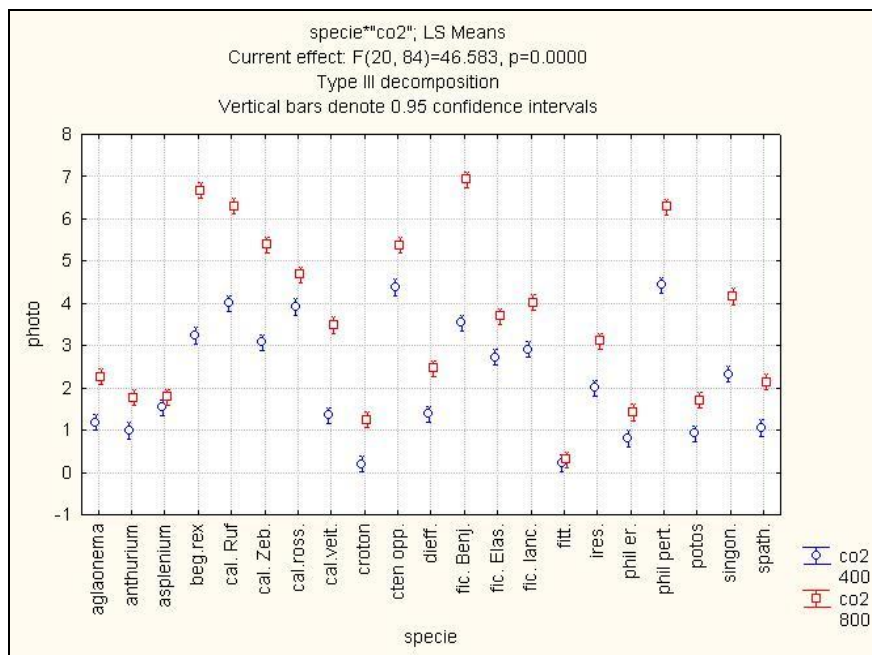


Fig. 32 – Interazione specie \* CO<sub>2</sub> (400 e 800ppm) delle specie analizzate a PAR di 200  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ .



Tab. 11 – Valori massimi di assimilazione (A<sub>max</sub>) misurati a 400 e 800 ppm di CO<sub>2</sub> con PAR 200  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ .

SPECIE	F.N. ( $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) a CO <sub>2</sub> 400ppm	F.N. ( $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) a CO <sub>2</sub> 800ppm
<i>Aglaonema commutatum</i>	1.36	1.96
<i>Anthurium andreaeanum</i>	0.98	1.77
<i>Asplenium nidus</i>	1.53	1.78
<i>Begonia rex</i>	3.26	6.67
<i>Calathea zebrina</i>	3.08	5.39
<i>Calathea rufibarba</i>	3.99	6.30
<i>Calathea veitchiana</i>	1.34	3.48
<i>Calathea louise</i>	3.91	4.68
<i>Codiaeum variegatum</i>	1.55	3.07
<i>Ctenanthe oppenheimiana</i>	4.38	5.37
<i>Dieffenbachia picta</i>	1.38	2.46
<i>Ficus beniamina</i>	2.84	6.93
<i>Ficus longifolia</i>	2.90	4.01
<i>Ficus elastica</i>	5.27	8.50
<i>Fittonia werschaffeltii</i>	0.21	0.30
<i>Iresine herbasti</i>	2.48	3.1
<i>Philodendron erubescens</i>	1.05	1.42
<i>Philodendron pertusum</i>	0.92	1.70
<i>Potos aureus</i>	4.43	6.28
<i>Syngonium podophyllum</i>	2.85	5.51
<i>Spathiphyllum wallisi</i>	1.43	2.13

## INFLUENZA DELLA DURATA DEL PERIODO DI ILLUMINAZIONE SUL PROCESSO FOTOSINTETICO IN *Ficus elastica* E *Dieffenbachia picta*.

### Introduzione

Pur essendo gli impianti di illuminazione indoor soggetti a norme costruttive, la luce erogata può risultare insufficiente sia per il confort visivo umano che per gli spazi verdi, se si considera che le lampade impiegate spesso non forniscono un'illuminazione adatta alle singole situazioni. Già il vetro delle finestrature può ridurre, a seconda del materiale con cui è realizzato e delle sue capacità schermanti, dal 15 al 65% della *PAR* con valori che raggiungono anche il 70, 92 e 99% a distanze di 0,5, 1,5 e 3,0 m (tab 12). Piante con punto di compensazione a valori di *PAR* relativamente alti (*Philodendron* 33,6 e *Ficus lanceolata* 20,8  $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ), già alla distanza di 1-1,5 m dal vetro, a seconda dell'esposizione della finestra, non dispongono di una sufficiente luminosità a garantire un'assimilazione netta positiva. A 3,0 - 4,0 metri dalla finestra per nessuna delle specie considerate viene raggiunto il livello di luminosità al quale corrisponde il punto di compensazione, neppure per *Aglaonema*, *Ficus elastica* e *Cordiline* che richiedono per raggiungere questo *PAR* molto basse di 4,8  $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$  (tab 3).

Tab. 12 – *PAR* rilevate durante la stagione autunnale (Ottobre 2008 ore 12:00) in un interno adibito ad ufficio con superfici finestrate orientate nei quattro punti cardinali e riduzione percentuale dell'intensità luminosa .

Posizione	Sud	Rid.	Nord	Rid. %	Est	Rid. %	Ovest	Rid. %	Media
m.	$\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$	%	$\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$		$\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$		$\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$		$\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$
Esterno	472	0	143	0	750	0	233	0	399,5
Interno vet.	223	52,7	56	60,8	216	71,2	78	66,5	143,2
0,5 m*	198	58,0	52	63,6	116	84,5	58	75,1	106,0
1,0 m	56	88,1	25	82,5	35	95,3	35	84,9	37,7
1,5 m	26	94,4	20	86,0	30	96,0	12	94,8	22,0
2,0 m	15	96,8	9	93,7	18	97,6	7	97,0	12,2
2,5 m	10	97,8	7	95,1	9	98,8	5	97,8	7,7
3,0 m	5	98,9	4	97,2	6	99,2	3	98,7	4,5
4,0 m	3	99,3	4	97,2	4	99,4	2	99,1	3,2
5,0 m	2	99,5	2	98,6	2	99,7	1	99,5	1,7

\* distanza dal vetro ad altezza di 1,20 m.

D'altro canto i tempi di accensione delle lampade, condizionati dalle ore di permanenza dell'uomo negli ambienti confinati, per lo spazio verde indoor determinano il fotoperiodo artificiale. Questo, sia per la breve durata complessiva di accensione e/o il rapido on-off delle accensioni può risultare



insufficiente da permettere l'attivazione dei naturali processi fisiologici delle piante legati alla luce. L'illuminazione artificiale risulta così necessaria e bisogna definirne non solo l'intensità ma anche la durata ovviamente nell'ottica del risparmio energetico. Poiché da dati bibliografici si desume che sottoporre le piante ad intensità luminose variabili comporti una maggior efficienza fotosintetica, (Pearcy et al. 1985; Kirschbaum et al. 1988; Kursar et al. 1993; Lakey et al. 2005), la prova ha avuto lo scopo di confrontare gli effetti sull'assimilazione carbonica di livelli costanti o modulati di PAR per un periodo di 8 ore, che corrisponde alla durata media di utilizzo di un ambiente lavorativo.

## Materiali e metodi

La fotosintesi è stata rilevata impiegando un analizzatore fotosintetico portatile (LI-6400XT).

La prova è stata condotta su piante di *Ficus elastica* e *Dieffenbachia picta* dopo un mese di ambientamento in camera di crescita ad una temperatura di  $25\pm 2^{\circ}\text{C}$  e un'umidità relativa del 75-85%, sotto lampade spot OSRAM FLORASET-P 80W, pari a PAR di  $15\text{-}20\ \mu\text{mol m}^{-2}\text{ s}^{-1}$  nella zona superiore della chioma. Tale intensità corrisponde alla luminosità mediamente presente negli interni ad uso ufficio, provvisti di un'adeguata illuminazione artificiale.

Seguendo le stesse metodologie di rilievo riportate per la prova precedente sono stati messi a confronto:

- A) 8 ore a PAR  $20\ \mu\text{mol m}^{-2}\text{ s}^{-1}$  costante;
- B) 8 ore a PAR  $40\ \mu\text{mol m}^{-2}\text{ s}^{-1}$  costante;
- C) 8 ore a PAR  $80\ \mu\text{mol m}^{-2}\text{ s}^{-1}$  costante;
- D) 8 ore a PAR  $40\text{-}80\ \mu\text{mol m}^{-2}\text{ s}^{-1}$  alternate ogni 8 minuti.

## Risultati e considerazioni

### *Ficus elastica*

L'intensità ha influenzato la risposta fotosintetica sia in termini di andamento dell'assimilazione che di  $\text{CO}_2$  totale assimilata durante le 8 ore ( figg. 33,34).

Già con  $20\ \mu\text{mol m}^{-2}\text{ s}^{-1}$  la fotosintesi netta è positiva, sebbene con valore medio molto basso ( $0,69\ \mu\text{mol CO}_2\text{ m}^{-2}\text{ s}^{-1}$ ) per l'intero periodo.  $40\ \mu\text{mol m}^{-2}\text{ s}^{-1}$  di PAR comportano un incremento del 23% ( $0,85\ \mu\text{mol CO}_2\text{ m}^{-2}\text{ s}^{-1}$ ) e non influenzano sostanzialmente l'andamento del processo fotosintetico come invece avviene con  $80\ \mu\text{mol m}^{-2}\text{ s}^{-1}$ . Con questo valore di PAR infatti oltre ad avere un'assimilazione media di  $1,37\ \mu\text{mol CO}_2\text{ m}^{-2}\text{ s}^{-1}$  è ben evidente un andamento oscillatorio con due picchi ( $2\ \mu\text{mol CO}_2\text{ m}^{-2}\text{ s}^{-1}$ ), il primo a 30 minuti e il secondo a 4,5-5,5 ore dall'accensione delle lampade. A questa "elevata" intensità luminosa la pianta presenta un rallentamento

dell'assimilazione durante la 2° ora di illuminazione fino a livelli analoghi a quelli riscontrati alle PAR inferiori. L'adozione della illuminazione alternata 40-80 innalza a  $1,80 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  la media dell'assimilazione e non comporta oscillazioni.

Fig. 33 – Andamento dell'attività fotosintetica nelle 8 ore di illuminazione alle PAR di 20,40,80 40/80  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  di *Ficus elastica* (ogni linea = media di 3 ripetizioni).

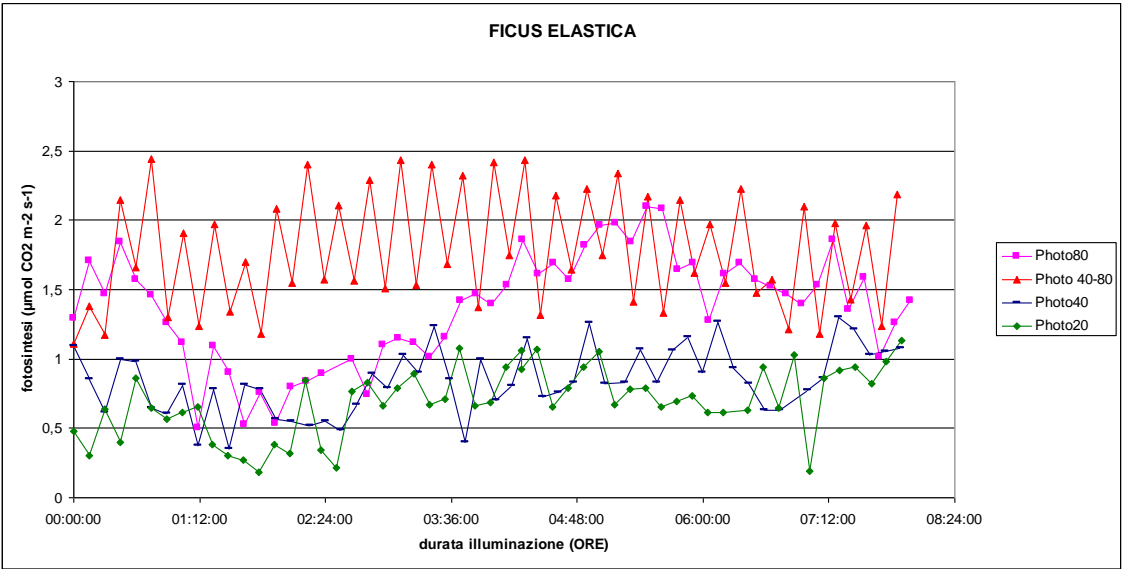
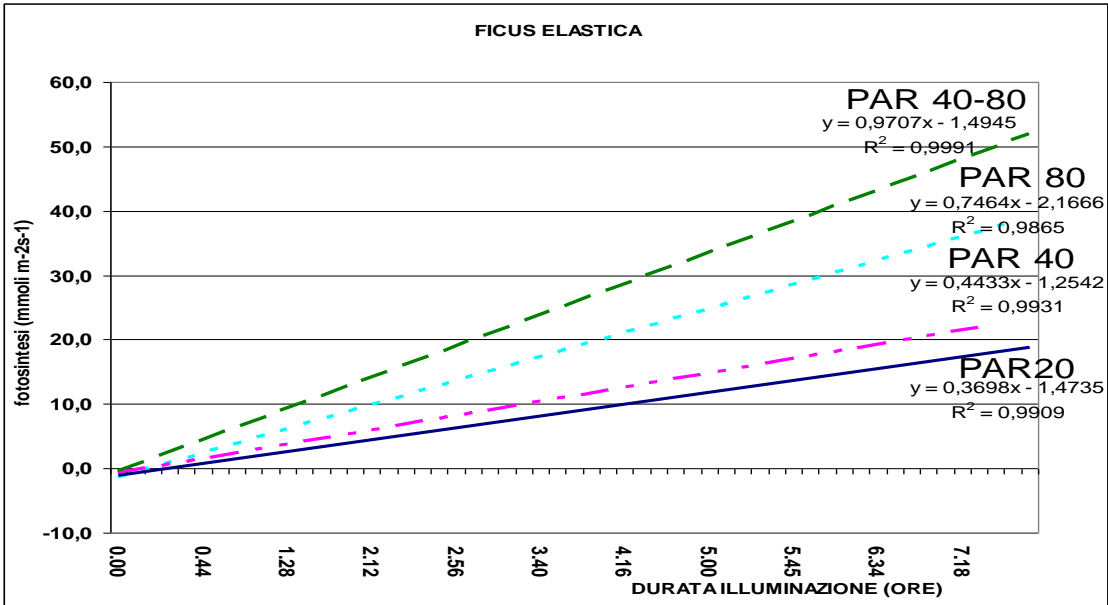


Fig. 34 – Fotosintesi cumulativa ( $\text{mmol m}^{-2}$ ) di *Ficus elastica* nelle 8 ore di illuminazione alle PAR di 20,40,80 40/80  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ .



Analizzando la fotosintesi cumulativa con l'illuminazione alternata 40-80 si ha un'assimilazione totale di circa 52 mmol CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup> mentre con *PAR* costante a 40 e 80 si raggiungono valori solamente di 25 e 40 mmol CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup> (fig. 34). L'illuminazione alternata consente di raggiungere i quantitativi di CO<sub>2</sub> organicata a 80 costanti già dopo 5 ore consentendo un risparmio in termini energetici. Resta comunque da valutare l'usura delle lampade.

### Dieffenbachia picta

Anche in *Dieffenbachia* le oscillazioni di intensità luminosa hanno influenzato la risposta fotosintetica sia in termini di andamento dell'assimilazione che di CO<sub>2</sub> totale assimilata durante le 8 ore ( figg. 35,36).

Già con 20 µmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> la fotosintesi netta è positiva, sebbene con valore medio molto basso (0,56 µmol CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>) per l'intero periodo. 40 µmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> di *PAR* comportano un incrementano del 5% (0,59 µmol CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>) e non influenzano sostanzialmente l'andamento del processo fotosintetico. Ad 80 µmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> il processo fotosintetico presenta una fotosintesi netta di 32.23 µmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> che rispetto a *PAR* 40 è simile (33.23 µmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>). Dopo circa due ore e mezzo di illuminazione alle *PAR* 40 e 80 *dieffenbachia* sembra presentare un decremento fotosintetico anche se la fotosintesi netta permane essenzialmente comunque a livelli superiori allo zero. L'adozione dell'illuminazione alternata 40-80 innalza a 1,02 µmol CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> la media dell'assimilazione con una fotosintesi netta globale di 53,40 µmol CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>, non comportando oscillazione nel processo fotosintetico rispetto alla durata complessiva di illuminazione.

Fig. 35 – Andamento dell'attività fotosintetica nelle 8 ore di illuminazione alle *PAR* di 20,40,80 20/40 µmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> di *Dieffenbachia picta* (ogni linea = media di 3 ripetizioni).

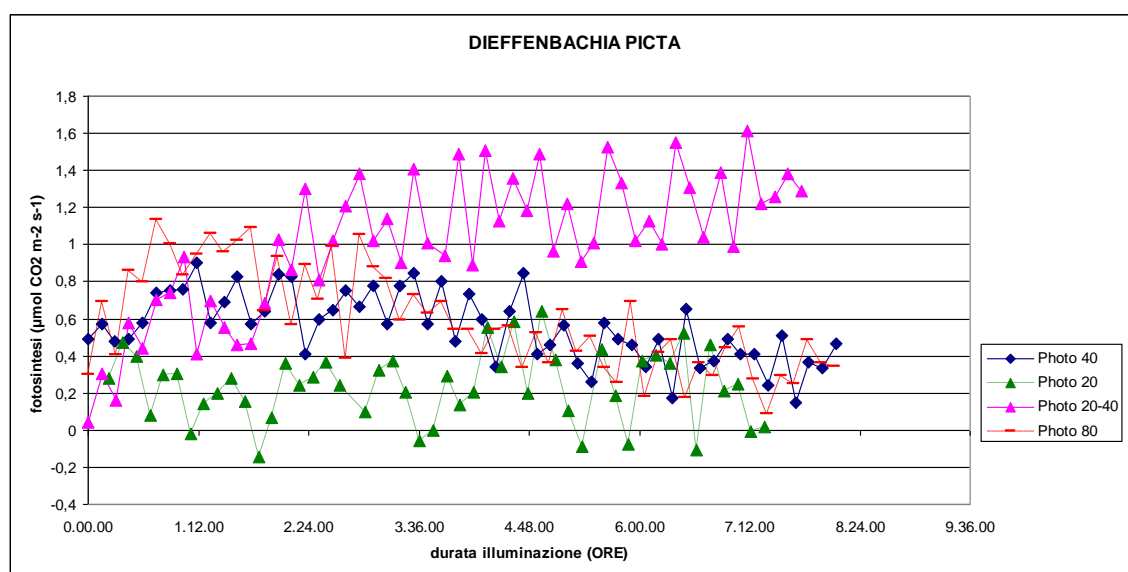
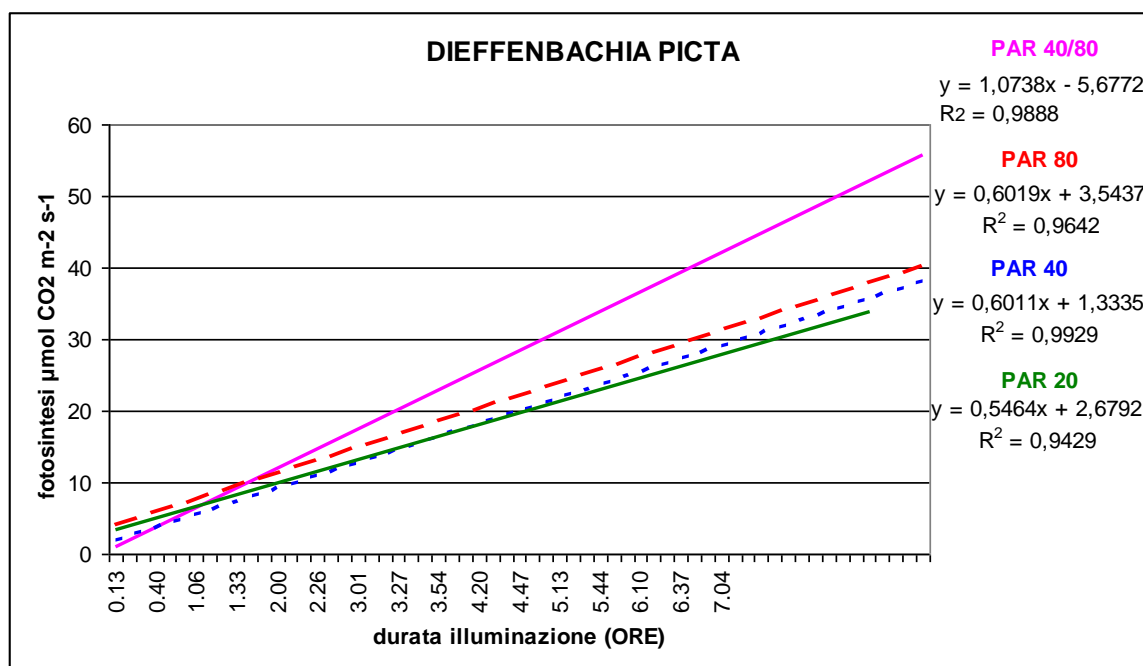


Fig. 36 – Fotosintesi cumulativa ( $\text{mmol m}^{-2}$ ) di *Ficus elastica* nelle 8 ore di illuminazione alle *PAR* di 20,40,80 40/80  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ .



Analizzando la fotosintesi cumulativa con l'illuminazione alternata 40-80 si ha un'assimilazione totale di circa  $53.40 \text{ mmol CO}_2/\text{m}^2$  mentre con *PAR* costante a 20 e 40 e 80 si raggiungono valori solamente di 27.7, 32.46, e  $33.23 \text{ mmol CO}_2/\text{m}^2$  (fig. 36). L'illuminazione alternata consente di raggiungere i quantitativi di  $\text{CO}_2$  organicata a 80, dopo 5 ore e mezza molto similmente a *Ficus elastica* sebbene le potenzialità fotosintetiche delle due piante siano molto differenti.

*Ficus elastica* e *Dieffenbakia picta* presentano il tipico comportamento delle piante da sottobosco tropicale sensibili ai sunflecks, beneficiando di "macchie di luce" a differente intensità nel effettuare il processo fotosintetico netto. La fotosintesi netta cumulativa in una durata complessiva di 8 ore di illuminazione a *PAR* costante mostra un calo dopo alcune ore dall'attivazione in *dieffenbackia*, e un andamento oscillatorio in *ficus*. Per il fatto che con interventi di illuminazione a *PAR* modulata di 8 minuti viene organicata più  $\text{CO}_2$ , per la scelta di un opportuna illuminazione per tali piante negli interni si potrebbe prevedere la realizzazione di un punto luce costituito dall'alternanza nell'accensione ogni 8 minuti di due lampade fornenti le *PAR* di 40 e 80  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  al fine di garantire i migliori livelli fotosintetici.

# RISPOSTA FOTOSINTETICA DELLA PIANTA A MODIFICAZIONI DELLO SPETTRO LUMINOSO MEDIANTE L'USO DI LED AD EMISSIONE NEL BIANCO, BLU E ROSSO

## Introduzione

Le fonti led presentano un'efficienza luminosa superiore alle lampade tradizionali ovvero un alta resa nelle bande 400-700nm in rapporto all'energia consumata. Per questo motivo il loro impiego nell'illuminazione architettonica è già di uso comune. Tuttavia per le loro caratteristiche possono essere convenientemente utilizzate anche per l'illuminazione degli spazi verdi. Spesso le fonti LED non essendo in grado di fornire una PAR sufficiente tale da permettere il raggiungimento del punto di compensazione, sono impiegate ad integrazione di lampade tradizionali per l'apporto di un determinato spettro luminoso in funzione del materiale con cui sono costruite e delle specifiche esigenze. Sono tuttavia in fase di studio LED di ultima generazione, che presentano accresciute rese in termini di intensità e pertanto una maggiore potenzialità come fonti luminose sostitutive o integrative della luce solare, sia con illuminazione dall'alto sia interchioma, su culture di interesse soprattutto orticolo (Engbers et al. 2007). Producendo luce fredda i LED possono essere posizionati a diretto contatto con le foglie. La possibilità di modificare uno spettro luminoso integrando eventualmente lo stesso con bande di colore monocromatiche rende possibile influenzare i processi morfo-fisiologici della pianta.

Sono stati riscontrati un'azione inibitrice del blu sulla fioritura di *Arabidopsis thaliana* (Ellen L. et al., 2007), sull'allungamento dello stelo in *Chrysanthemum* (Shimizu H., 2007) e un effetto stimolante l'apertura stomatica in *Phaphiopedilum* (Lawrence D., 2002). Per quanto riguarda la luce rossa, e l'aumento del rapporto R/FR, è stato riscontrato un effetto positivo sulla sintesi e il contenuto di pigmenti fogliari (Chla, Chlb, carotenoidi) in semenzali di pino (Zitikova A.P., 2000) e in particolare di antociani in *Stellaria longipes* (Suneetha A., 2002).

Numerosi studi sono stati condotti al fine di valutare gli effetti della luce colorata sull'uomo. È già stato verificato che la luce rossa influenza i comportamenti e le capacità analitiche dell'uomo (Knez I. 2000), mentre quella interferisce positivamente sull'equilibrio melatoninico (Morita T., 1998).

La moderna illuminazione architettonica prevede per abitazioni, scuole, uffici, ospedali l'uso di luce colorata a diverse finalità, quali il confort visivo, la sensazione di serenità e la valorizzazione di punti di particolare interesse. Nelle piante da interno per le quali la colorazione del fogliame ha un valore estetico particolarmente rilevante, l'uso di LED può contribuire al processo fotosintetico e a esaltare l'ornamentalità del fogliame nonché ad influire positivamente sul benessere per l'uomo.

Scopo della prova è quello di definire l'effetto dell'illuminazione artificiale mediante LED a luce bianca, blu e rossa in rapporto alla luce neon bianca tradizionale, sui principali parametri morfologici e fisiologici correlati al grado di ornamentalità di piante da interno a fogliame decorativo quali *Ficus benjamin* 'Variegata' e *Iresine herbistii*.

## Materiali e metodi

Sono state scelte piante di *Ficus elastica* 'Variegata' e *Dieffenbachia picta* ambientate per un mese in camera di crescita ad una temperatura di  $25\pm 2^{\circ}\text{C}$  e un'umidità relativa del 75-85%, sotto lampade spot OSRAM FLORASET-P 80W fornenti una PAR di dalle 20 alle  $48\ \mu\text{mol m}^{-2}\text{ s}^{-1}$  nella zona superiore della chioma. Le piante utilizzate (10/tesi) ottenute da talea (fig 37) sono state coltivate in vaso con diametro di 10 cm per una durata di 4 mesi, dal 1 luglio al 31 ottobre in una camera di crescita e concimate settimanalmente mediante fertirrigazione con una soluzione contenente 1g/l di concime ternario 20:20:20, fino a percolazione.

Fig.37 – Tipico aspetto di una pianta e variabilità fogliare di *Iresine herbistii* sx e *Ficus benjamin* Variegata dx.



Sono stati confrontati quattro tipi di illuminazione:

- A) LED-tube “cool white”
- B) LED tube “cool white” + LED tube “full blue”
- C) LED tube “cool white” + LED tube “full red”
- D) Neon Sylvania “grow lux” + Neon Sylvania “cool white”

L'analisi dello spettro luminoso misurato mediante spettroradiometro MINOLTA del LED bianco presenta due picchi di emissione compresi nell'intervallo di lunghezza d'onda da 400 ai 700 nm con un primo picco sui 450 nm e un secondo sui 576 nm, il primo che rappresenta il 16%, ed il

secondo il 78,8% della radiazione globale emessa in questo intervallo di lunghezza d'onda. L'integrazione del LED bianco con il LED blu consente di integrare lo spettro luminoso in corrispondenza della banda del blu con lunghezze d'onda comprese tra i 460 e i 465 nanometri incrementando in tal modo al 38% l'apporto radiativo del primo picco e riducendo il secondo picco al 59% della radiazione totale apportata tra i 400 e i 700 nm. L'integrazione al LED bianco con il LED rosso aggiunge ad un primo picco in corrispondenza dei 450 nm dato dalla luce bianca un secondo picco sui 636 nm in corrispondenza del rosso che apportano rispettivamente tra i 400 e i 700 nm un 9,9% e un 86,6% della radiazione complessiva. Lo spettro luminoso ottenuto dalla combinazione dei due neon si presenta nel complesso più disturbato e tra i 400 e i 700 nm presenta tre picchi massimi in corrispondenza di 436, 546 e 612 nm.

Fig.38 – Spettro di emissione della lampada LED “cool white” a colorazione bianca.

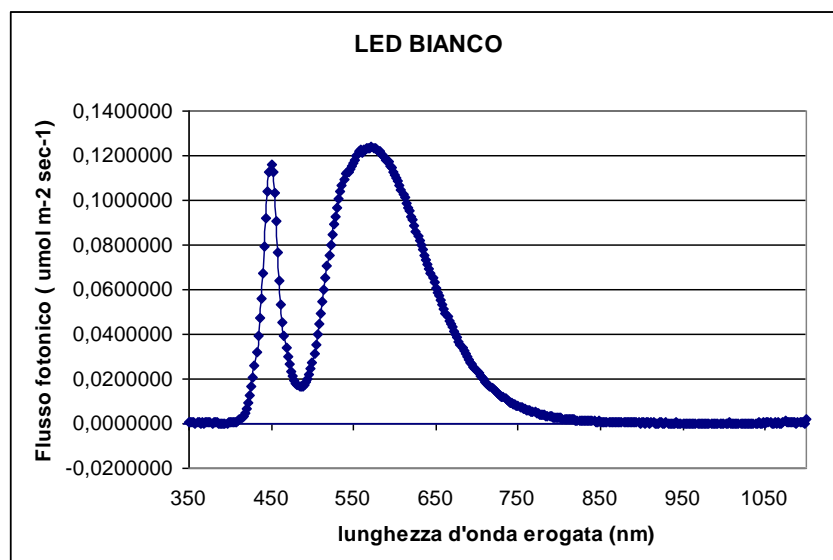


Fig.39 – Spettro di emissione della lampada LED “cool white” a colorazione bianca + LED a colorazione blu “full blue”

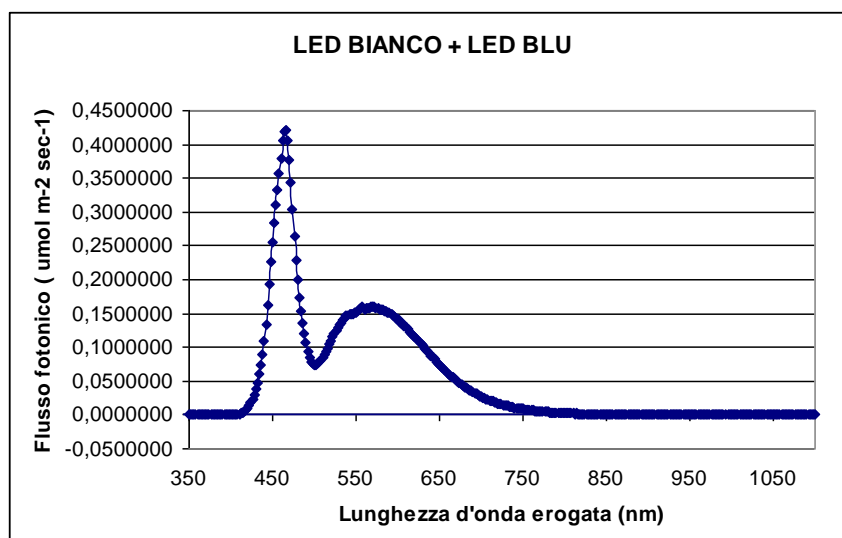


Fig.40 – Spettro di emissione della lampada LED “cool white” a colorazione bianca + Led a colorazione rossa “full red”

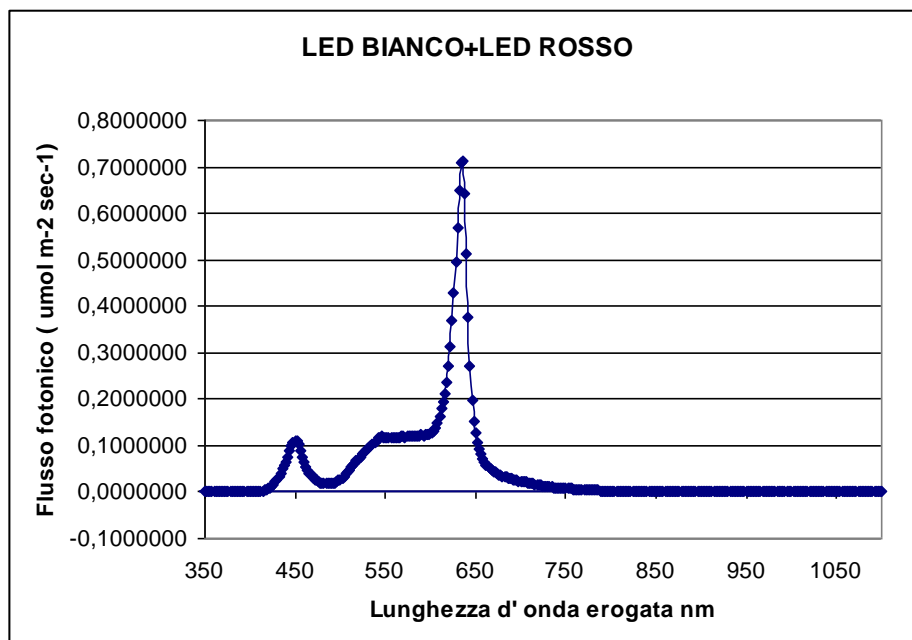
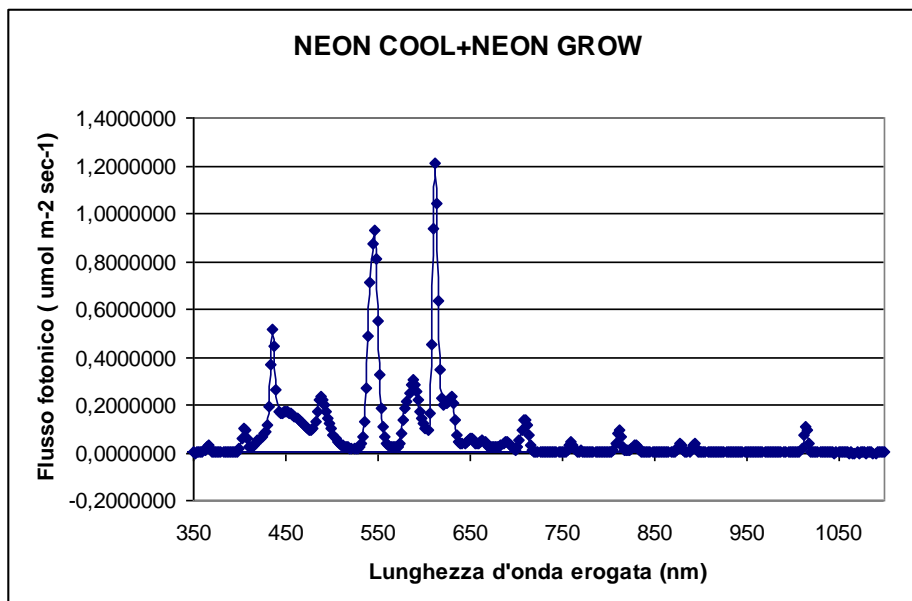


Fig.41 – Spettro di emissione della lampada NEON “cool white” + NEON “grow lux”



Le lampade LED utilizzate sono tubi LED ottenuti innestando i singoli diodi su un supporto in alluminio a sua volta inserito in un cilindro in plastica con superficie interna rifrangente per migliorare la diffusione luminosa. Queste lampade sono state posizionate nelle tradizionali plafoniere da neon di 1,20cm. I tubi LED presentano le seguenti caratteristiche tecniche dichiarate dalla ditta costruttrice (tab. 13):



Tab.13 – Caratteristiche tecniche delle lampade impiegate.

LED-TUBE COOL WHITE	LED-TUBE RED	LED-TUBE BLUE	NEON SYLVANIA
VOLT: 80-120VAC LUNGHEZZA:1.20M RESA LUCE: 1350 LM CONSUMO: 15W DIAMETRO:3CM DURATA:50.000 ORE	VOLT:80-120VAC LUNGHEZZA:1.20M RESA LUCE: 1350 LM CONSUMO: 15W DIAMETRO:3CM LUNG. D'ONDA EROG.:650-660NM DURATA:50.000 ORE	VOLT:80-120VAC LUNGHEZZA:1.20M RESA LUCE: 1350 LM CONSUMO: 15W DIAMETRO:3CM LUNG. D'ONDA EROG.:460-465NM DURATA:50.000 ORE	LUNGHEZZA:1.20M CONSUMO: 36W DIAMETRO:3CM RESA LUCE:50 LUX DURATA:8.000 ORE

Sono state rilevate con uno spettroradiometro MINOLTA le PAR erogate dalle diverse lampade a 30 cm dalla fonte luminosa, al fine di poter stabilire le condizioni di illuminazione delle piante sotto i diversi abbinamenti. Il singoli valori di PAR emessa sono di  $20,6 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  per il LED bianco,  $14 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  per il LED blu,  $13 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  per il led rosso,  $26,7$  per il Neon Grow e  $21,6$  per il neon Cool. Gli abbinamenti eseguiti tra le lampade hanno permesso di apportare  $36,6 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  per LED bianco + LED blu,  $32,64 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  per LED bianco + Led rosso e  $48 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  per Neon Grow + Neon Cool. I tubi sono stati posizionati sopra le piante ad una distanza di 30 cm in modo da garantire PAR costanti sulle piante per ogni tesi andando da un valore minimo di  $20,6 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  (led bianco singolo) a  $48 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  (Neon Grow + Neon Cool).

Per *Ficus benjamin* ed *Iresine herbistii* sono stati valutati i seguenti parametri:

1. altezza e diametro della pianta;
2. numero e lunghezza degli internodi nei germogli neoformati;
3. numero delle foglie nuove prodotte;
4. pesi freschi e secchi degli steli e delle foglie prodotte;
5. superficie fogliare e modificazione della variegatura;
6. concentrazione di clorofilla;
7. valutazione della performance fotosintetica.

I parametri rilevati quali lunghezza e numero dei germogli, lunghezza degli internodi, pesi freschi, secchi totali di foglie e germogli, superficie fogliare e modificazione della variegatura, concentrazione di clorofilla, sono stati analizzati statisticamente (ANOVA , $p=0,05$ ; test Newman Keuls).

L'analisi del contenuto in clorofilla è stata eseguita sulle due porzioni fogliari di diversa colorazione, per ognuna sono stati prelevati 82 dischetti del diametro di 0.7 mm<sup>2</sup> per avere un peso complessivo di circa 2 grammi. Le porzioni di lembo fogliare sono state pestate in azoto liquido e portate a volume in 50ml di MeOH. I campioni ottenuti sono stati lasciati in estrazione al buio ad una temperatura di 4°C per 24 ore e successivamente passati in centrifuga alla stessa temperatura per 5 minuti a 10.000 giri. La lettura del contenuto in clorofilla è stata eseguita con uno spettrofotometro a 646 e 663 nm di lunghezza d'onda con tre ripetizioni per ogni campione. Le variazioni sulla variegatura fogliare (superfici e percentuali di variegatura) sono state ottenute processando l'immagine a colori ottenuta dalla scannerizzazione delle foglie prodotte durante il periodo di coltivazione con il software image tool e sono state separate a livello grafico le porzioni diversamente colorate per singola foglia.

## Risultati e discussioni

### *Iresine herbisti*

Le piante cresciute sotto (LED bianco + LED blu) presentano una taglia inferiore rispetto alle altre tesi ed un portamento più compatto (fig 42); i germogli appaiono più corti (8,8 cm rispetto a 21,9 cm, tesi C (led bianco + led rosso) e 23,3 tesi A (led bianco). L'uso di LED blu ha comportato anche un minor numero di internodi. I pesi secchi totali prodotti (4,4 g) sotto LED blu risultano superiori rispetto alle altre tesi (2,8 g in neon, 2,9 g in LED bianco 3,1 in LED rosso) (Tab.14) e il tasso fotosintetico netto con LED blu risulta decisamente superiore con un valore di 3,4  $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  a PAR di 100  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  rispetto alle altre tesi (fig 12). Per quanto riguarda la variegatura fogliare è da mettere in evidenza che la foglia tipica dell'*iresine herbisti* è caratterizzata da variegature internodali dalla colorazione violaceo fucsia chiaro (per presenza esclusiva dei pigmenti *iresinina* e *amarantina* tipici della specie) alternate a variegature viola scuro nel restante lembo fogliare (per compresenza ai pigmenti *iresinina* e *amarantina* del pigmento *clorofilla*). Tutte le piante accresciutesi sotto le differenti condizioni luminose hanno prodotto foglie non variegata dalla colorazione esclusivamente violaceo scuro (per presenza di *clorofilla*, *iresinina* e *amarantina*). Per questa specie tipicamente eliofila tutte le condizioni luminose di PAR impiegate dalle 20,6  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  (led bianco singolo) alle 48  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  (Neon Grow + Neon Cool) non hanno fornito un'intensità sufficiente da mantenere la permanenza della variegatura più chiara. Tutte le foglie neoformate durante il periodo di accrescimento sono risultate della colorazione più scura. L'analisi del contenuto iniziale in clorofilla ha messo in evidenza la presenza nella porzione fogliare scura una concentrazione di 4,69  $\mu\text{g Chl/cm}^2$  di superficie fogliare e l'assenza di tale pigmento nella porzione chiara. L'analisi sul contenuto finale per la foglia complessiva ha evidenziato che sotto LED bianco e LED bianco+rosso la concentrazione di clorofilla si è mantenuta molto simile alla

concentrazione iniziale della porzione scura con un decremento pari rispettivamente a 4,55 e 3,44  $\mu\text{g Chl}/\text{cm}^2$  rispettivamente. Le foglie cresciute sotto il neon presentano una concentrazione di clorofilla di 1,35 volte superiore pari a 6,34  $\mu\text{g Chl}/\text{cm}^2$  e quelle sviluppatesi sotto led bianco+blu una concentrazione di 2,56 volte superiore pari a 12,01  $\mu\text{g Chl}/\text{cm}^2$  rispetto alla concentrazione iniziale. Tutte le combinazioni LED indagate possono rappresentare una alternativa di sostituzione alla coltivazione sotto neon. Una PAR di 20,6  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  di LED bianco è sufficiente per mantenere la pianta in condizioni di sopravvivenza con un consumo di 15W a fronte dei 36W necessari per il funzionamento di ogni singolo neon. La combinazione LED bianco + LED blu monocromatico favorisce il contenimento della taglia della pianta, caratteristica gradita nella fase di utilizzo indoor e l'attività fotosintetica. Tutte le combinazioni di lampade hanno tuttavia erogato una PAR insufficiente per mantenere in iresine la variegatura fogliare originaria.

Per tali motivi non è stato preso in considerazione per LED rosso, il rapporto R/FR, influenzante positivamente la sintesi e il contenuto di pigmenti fogliari quali antociani (Suneetha A.,2002), in quanto il LED rosso monocromatico si è dimostrato dall'analisi allo spettrometro emettere una frequenza di lunghezze d'onda dai 616 ai 646 nm con un picco sui 636nm e non nella banda del rosso compresa tra i 656 e i 666nm come dichiarato dalla ditta costruttrice. È stata inoltre constatata per l'emissione di tutti i LED utilizzati la totale assenza di emissione nel far-red.

Le piante sviluppatesi sotto le condizioni LED bianco + LED rosso monocromatico hanno tuttavia raggiunto una taglia più elevata con valori molto simili a LED bianco singolo.

Tab. 14 – *Iresine*; parametri analizzati statisticamente (ANOVA , $p=0,05$ ; test Newman Keuls)

TESI	Lung germ (cm)		N. intern/germ		Lung intern (cm)		Ps stelo (g)	Ps foglie (g)	Tot ps (g)		CHL FGL. ( $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ )	
Neon	11,3	b	5,4	b	2,0	c	1,4	1,4	2,8	a	6,34	b
LB	21,9	a	6,5	a	3,3	b	1,5	1,5	2,9	a	3,44	c
LB+LR	23,3	a	6,3	a	3,7	a	1,4	1,6	3,1	a	4,55	bc
LB+LBLU	8,8	b	4,8	c	1,8	c	1,5	2,9	4,4	b	12,01	a

Fig. 42 – Variazioni morfologiche in *Iresine herbistii* coltivate alle PAR di 10, 20, 40, 80, 100  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  sotto le differenti fonti di illuminazione

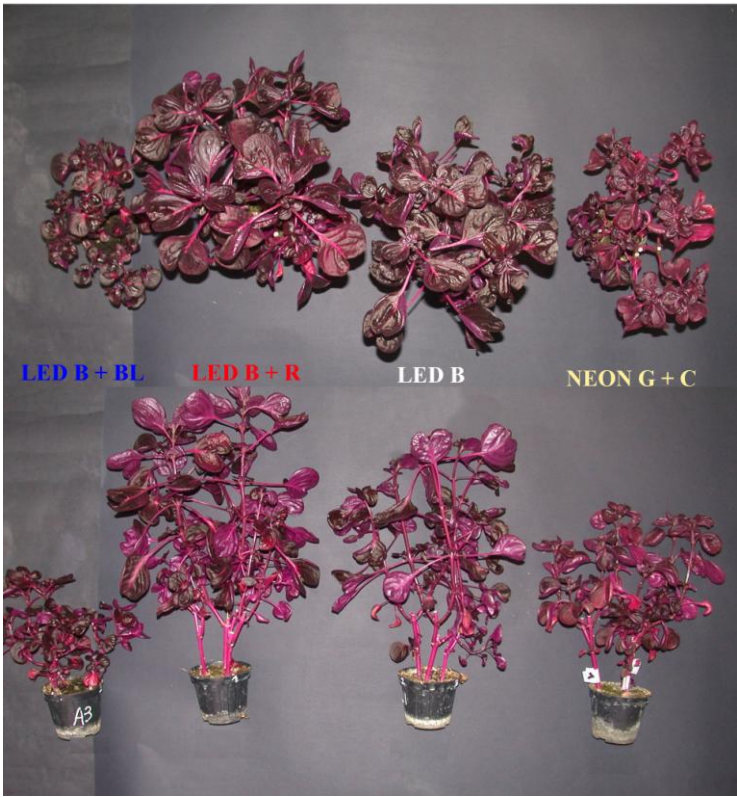


Fig. 43 – Andamento del tasso foto sintetico netto di *Iresine herbistii* alle PAR di 10, 20, 40, 80, 100  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  sotto le differenti fonti di illuminazione

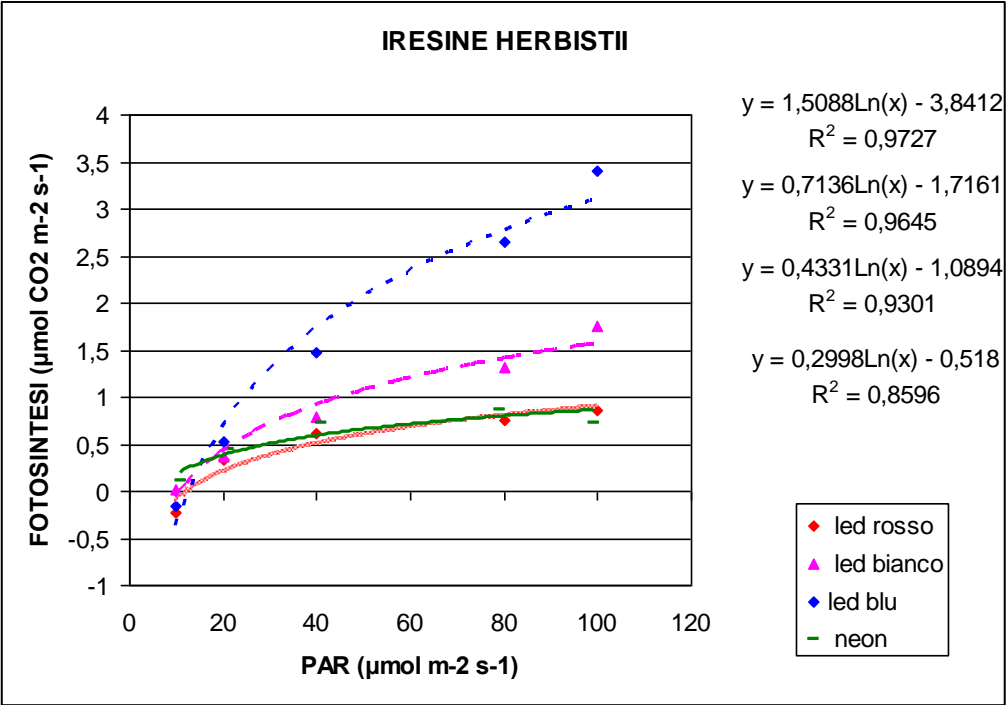
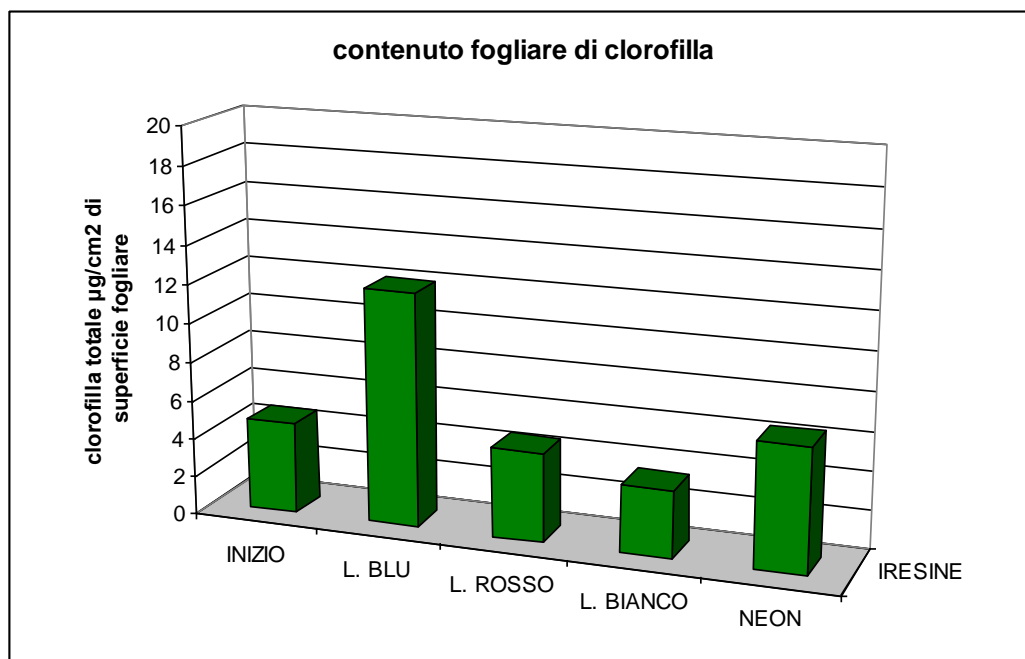


Fig. 44 – contenuto fogliare di clorofilla in *Iresine herbistii* ( $\mu\text{g Chl}/\text{cm}^2$ ) nella fase iniziale e alla fine del periodo di coltivazione sotto le differenti condizioni luminose.



### *Ficus benjamin*

Le piante cresciute sotto neon presentano una taglia superiore rispetto alle altre tesi ed un portamento più filato (fig. 45); i nuovi germogli appaiono più lunghi (6,95 cm per il germoglio principale) rispetto a 6,31 cm della tesi C (LED bianco + LED rosso), 4,90 cm della tesi A (LED bianco) e 4,66 cm della tesi B (LED bianco + LED blu). I germogli secondari presentano i seguenti sviluppi: 1,50 cm per neon, 1,38 cm per LED bianco, 1,15 cm per LED bianco + LED rosso, 0,83 cm per LED bianco + LED blu. L'utilizzo del LED blu ha comportato nel complesso un contenimento dello sviluppo in lunghezza dei germogli neoformati nelle piante. L'uso di LED blu ha inoltre contribuito allo sviluppo di ramificazioni con un maggior numero di internodi; 5,83 contro 4,00 per LED bianco, 3,68 per LED bianco + LED rosso, e 3,00 per neon. In questa specie i pesi secchi sia dello stelo che delle foglie sviluppate sotto le differenti condizioni luminose sono stati influenzati dallo spettro; le piante accresciute sotto neon hanno sviluppato steli aventi un peso secco inferiori a quelle sviluppate sotto luce LED ed un numero di foglie sensibilmente ridotto (tab.15). Le piante coltivate sotto luce LED (bianco + blu) si sono sviluppate nel complesso più accestite con sviluppi in lunghezza dei germogli nuovi inferiori, maggior numero di internodi e foglie di superficie media inferiore. Tali caratteristiche vengono confermate anche dalla produzione più elevata di sostanza secca complessiva di foglie e germogli; 11,38 g per LED bianco + LED blu,

4,47 g per LED bianco + LED rosso, 6,51 g per LED bianco e 2,15 g per neon. Per quanto riguarda la variazione della variegatura fogliare pur essendovi differenza significativa che avvalorerebbe la neoformazione di foglie maggiormente variegata di verde e meno di bianco in coltivazione sotto LED bianco + LED blu, le percentuali di variegatura restano molto simili in tutte le tesi. Ciò che varia in maniera netta è la concentrazione della clorofilla totale fogliare nella porzione verde della foglia. Rispetto a una concentrazione iniziale di  $16,71 \mu\text{g Chl/cm}^2$  di superficie fogliare la coltivazione sotto il LED bianco + LED blu mostra un incremento a  $31,73 \mu\text{g Chl/cm}^2$  pari circa al doppio. Per LED bianco + LED rosso e per LED bianco la clorofilla rimane molto simile ai valori iniziali con rispettivamente  $17,54$  e  $16,74 \mu\text{g Chl/cm}^2$  mentre per neon si ha un decremento a  $9,36 \mu\text{g Chl/cm}^2$ . Come in iresine il tasso fotosintetico netto con LED blu risulta decisamente più alto rispetto a tutte le altre tesi con un valore di  $3,81 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  a *PAR* di  $100 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  (fig) ed un efficienza foto sintetica a questa *PAR* di circa 5 volte superiore.

Tab. 15 – *Ficus*; parametri analizzati statisticamente (ANOVA , $p=0,05$ ; test Newman Keuls)

TESI	N°. INTERN. GER. PRINC.		L. GER. PRINC		N°. GER. SEC.		L. INTER GER.SEC	
<b>NEON</b>	3,00	b	6,95	a	1,00	b	1,50	a
<b>L. BI.</b>	4,00	b	4,90	b	2,25	ab	1,38	a
<b>L. BI. + L. R.</b>	3,68	b	6,31	ab	3,00	a	1,15	ab
<b>L. BI.+ L. BL.</b>	5,83	a	4,66	b	4,00	a	0,83	b

Tab. 16 – *Ficus*; parametri analizzati statisticamente (ANOVA , $p=0,05$ ; test Newman Keuls)

TESI	P. F. ST.NUOVO		P. S. ST.NUOVO		N° FGL. NUOVE		P.F. FGL. NUOVE.		P.S FGL. NUOVE		SUP. MED. SINGOLA FOGLIA	
<b>NEON</b>	3,14	NS	0,08	b	12,33	b	13,28	a	2,07	b	8,11	a
<b>L. BI.</b>	2,31	NS	0,26	a	38,33	ab	8,86	b	6,25	a	8,42	a
<b>L. BI. + L. R.</b>	2,73	NS	0,33	a	26,66	ab	7,78	b	4,14	ab	9,54	a
<b>L. BI.+ L. BL.</b>	3,55	NS	0,36	a	51,33	a	12,06	a	7,38	a	6,19	b

Tab. 17 – *Ficus*; parametri analizzati statisticamente (ANOVA ,p=0,05; test Newman Keuls)

TESI	CHL PRORZ. FGL. VERDE ( $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ )		CHL PRORZ. FGL BIANCA ( $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ )		% VARIEG. VERDE		% VARIEG. BIANCA	
<b>NEON</b>	9,36	d	0,12	c	83,69	b	16,30	c
<b>L. Bl.</b>	16,74	c	0,57	b	82,92	d	17,02	a
<b>L. Bl. + L. R.</b>	17,54	b	0,63	a	83,29	c	16,70	b
<b>L. Bl.+ L. BL.</b>	31,73	a	0,56	b	83,98	a	16,01	d

Fig. 45 – Variazioni morfologiche in *Ficus benjamina* coltivate alle PAR di 10, 20, 40, 80, 100  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  sotto le differenti fonti di illuminazione

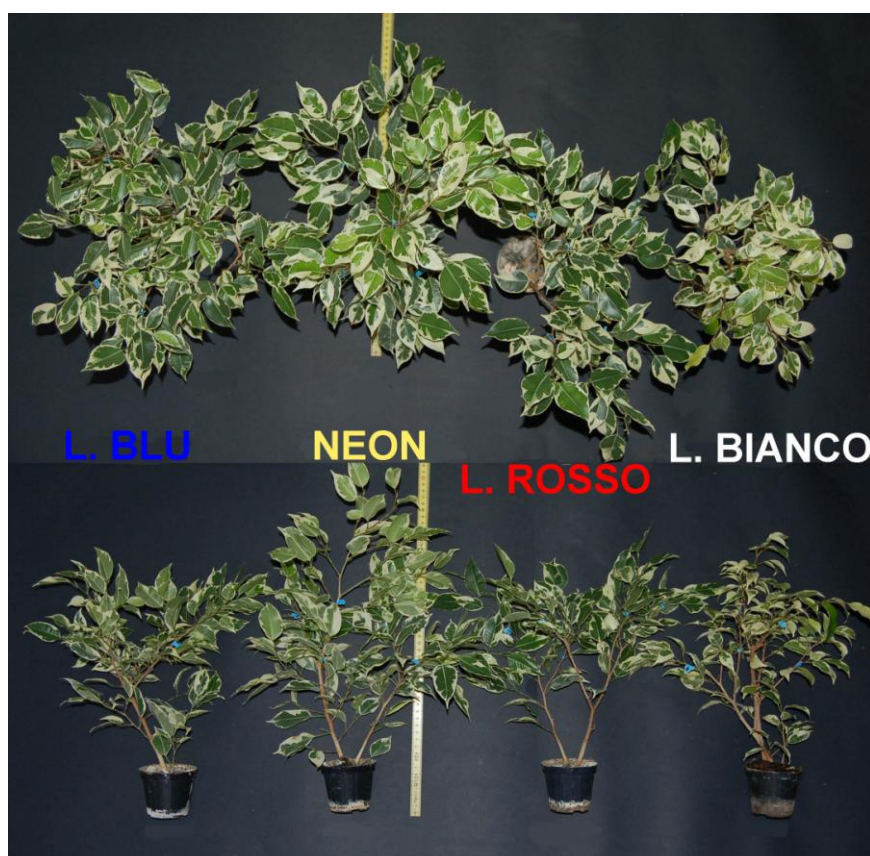


Fig. 46 – Andamento del tasso foto sintetico netto di *Ficus benjamina* alle PAR di 10, 20, 40, 80, 100  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  sotto le differenti fonti di illuminazione.

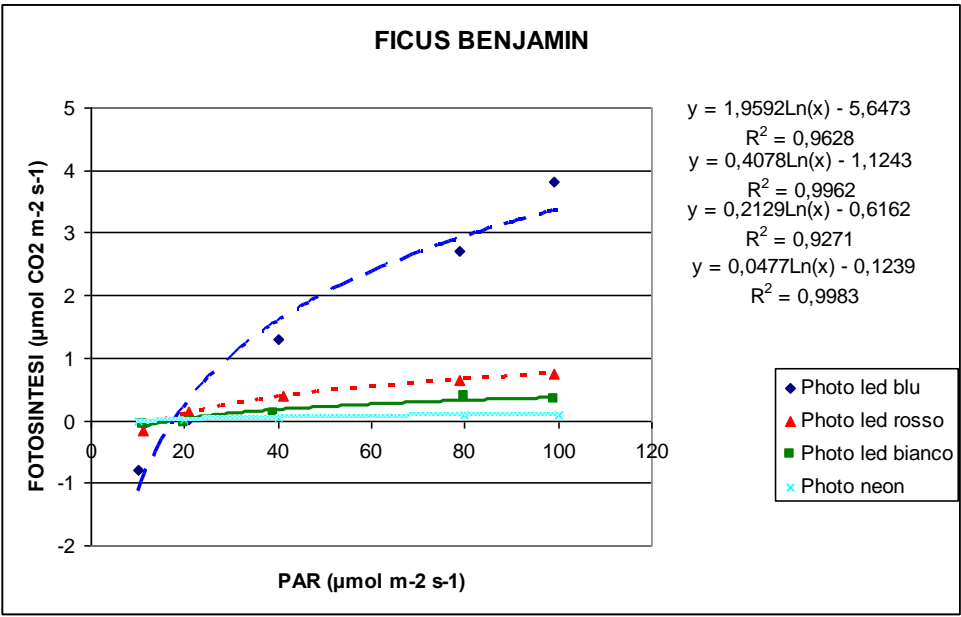
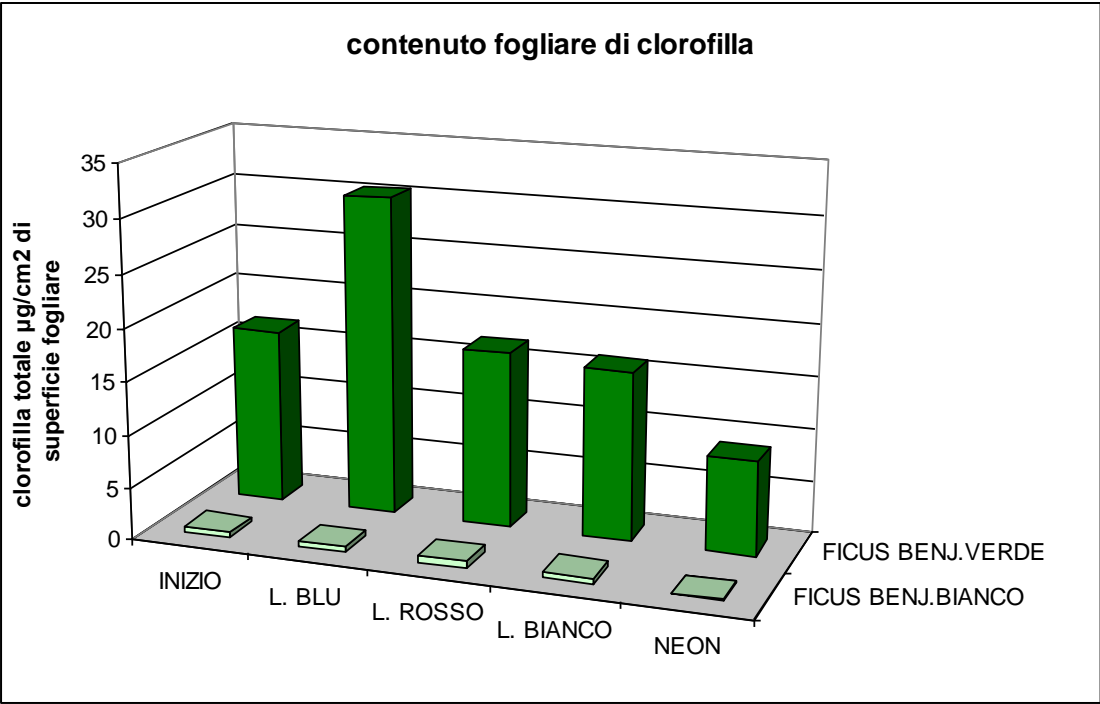


Fig. 47 – Contenuto fogliare di clorofilla in *Ficus benjamina* ( $\mu\text{g Chl}/\text{cm}^2$ ) nella fase iniziale e alla fine del periodo di coltivazione sotto le differenti condizioni luminose.





## CONCLUSIONI

Per gli aspetti positivi apportati dalle piante sulla psicologia umana e sulla salubrità degli ambienti chiusi, la realizzazione di spazi verdi indoor è oggi di larghissimo utilizzo. La progettazione di tali spazi garantisce la realizzazione di ambienti più piacevoli che pur rispettando le norme di sicurezza e il benessere umano, creano condizioni il più possibile naturali per le piante, in grado di garantirne la sopravvivenza e la crescita artificialmente.

Una buona disponibilità luminosa è quindi estremamente importante per soddisfare le esigenze della pianta e per tale fattore non va dimenticato l'aspetto del risparmio energetico che una corretta progettazione illuminotecnica deve garantire in questi ambiti. Non esistono specifici studi che hanno classificato le piante ornamentali comunemente utilizzate per l'arredo verde interno caratterizzandole in termini di esigenze luminose (intensità, spettro, durata minima, massima ed ottimale del fotoperiodo di illuminazione) negli interni abitati. Non sono stati neppure ampiamente analizzati per queste specie gli adattamenti del processo fotosintetico dopo un lungo periodo di ambientamento alle condizioni indoor, caratterizzate dalla scarsa disponibilità di luce naturale e dagli alti livelli di concentrazione di CO<sub>2</sub> dovuti alla lunga permanenza degli occupanti negli interni. La conoscenza delle esigenze luminose e della tolleranza alle condizioni degli interni delle piante ad uso decorativo, sono però di fondamentale importanza per una giusta progettazione, dimensionamento e dislocazione dei punti luce, nonché nello stabilire quali siano i minimi livelli di PAR e le durate minime di illuminazione tali da garantire il maggior benessere degli spazi verdi indoor.

Il seguente studio si è focalizzato pertanto sul fattore luminoso e si è così articolato:

- 1 – Caratterizzazione della risposta fotosintetica all'intensità luminosa su 21 delle principali specie di piante coltivate per gli interni;
- 2 – Influenza della concentrazione di CO<sub>2</sub> e della intensità luminosa sul processo fotosintetico delle precedenti specie;
- 3 – Andamento dell'attività fotosintetica a PAR costante e variabile (in *Ficus elastica* e *Dieffenbachia picta*);
- 4 - Risposta morfo-fisiologica e fotosintetica a modificazioni dello spettro luminoso mediante l'uso di LED ad emissione nel bianco, blu e rosso (in *Ficus benamina* e *Iresine herbistii*);

La prima prova ha caratterizzato 21 delle principali specie di piante a fogliame decorativo utilizzate nell'interior plantscaping (*Aglaonema commutatum*, *Asplenium nidus*, *Anthurium andreanum*, *Begonia rex*, *Calathea luoise*, *Calathea veitchiana*, *Calathea rufibarba*, *Calathea zebrina*, *Codiaeum variegatum*, *Ctheanthe oppenheimiana*, *Dieffenbachia picta*, *Ficus benamina*, *Ficus elastica*, *Ficus longifolia*, *Fittonia verschaffeltii*, *Iresine herbistii*, *Philodendron erubescens*,

*Philodendron pertusum*, *Potos aureus*, *Spathiphyllum wallisi*, *Syngonium podophyllum* ) e verificata la risposta fotosintetica all'intensità luminosa, fornita da sorgenti artificiali stabilendo quali sono i principali parametri sui quali basare un corretto dimensionamento dell'impianto di illuminazione per ogni specie e/o composizione.

Si sono eseguiti i rilievi fotosintetici dopo un ambientamento di quattro mesi alle condizioni indoor su queste specie quantificando il tasso fotosintetico ( $\Delta\text{CO}_2$ ) a valori crescenti di PAR: (20, 40, 80, 100, 200, 400, 600, 800, 1000, 1200, 1400, 1600, 1800, 2000, 2200 e 2400  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) scegliendo la foglia con maggior efficienza, sulla quale è stata ripetuta per 2 volte l'intera sequenza delle PAR.

I dati di fotosintesi analizzati sono stati il punto di compensazione alla luce (g), il punto di saturazione alla luce (s), l'efficienza quantica (AQE), il punto di respirazione al buio (Rd) e la fotosintesi netta massima (A max).

I valori massimi di A max sono serviti per classificare le specie in quattro categorie; A max < 2  $\mu\text{mol CO}_2 \text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , A max compresa tra 2 e 4  $\mu\text{mol CO}_2 \text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , Amax compresa tra 4 e 6  $\mu\text{mol CO}_2 \text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , Amax > 6  $\mu\text{mol CO}_2 \text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , al fine di mettere in risalto la potenzialità fotosintetica di ogni singola specie. Valori minimi di A max di 1,20 e 1,77  $\mu\text{mol CO}_2 \text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$  organicate si ritrovano rispettivamente in *Anthurium andreanum* e *Asplenium nidus*, le uniche due specie afferenti alla prima categoria, mentre valori massimi di 6,35, 7,17, 8,03  $\mu\text{mol CO}_2 \text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$  si hanno in *Calathea zebrina*, *Ctenanthe oppenheimiana* e *Ficus benjamin* della quarta categoria. Le restanti 16 specie si collocano a livelli intermedi con A max compresa tra questi estremi.

È stata caratterizzata la PAR disponibile per le piante indoor, sia in un interno ad uso abitativo nella stagione di minima disponibilità in luce naturale, sia sotto fonti artificiali allontanandosi progressivamente da esse. Questi dati sono stati paragonati ai valori di (g) ed (s) al fine di stabilire dove sussistono le migliori condizioni di disponibilità luminosa per ogni specie tali da favorire al massimo il processo fotosintetico. I valori di PAR compresi tra (g) ed (s) forniscono i valori sui quali orientarsi per scegliere una giusta lampada o dimensionare un punto luce per ogni singola specie e/o composizione.

La seconda prova ha valutato l'influenza di due livelli di concentrazione di  $\text{CO}_2$  ambientale (400 e 800 ppm) all'incrementare dell'intensità luminosa sul processo fotosintetico delle 21 specie precedenti. Considerando che i livelli ordinari di concentrazione atmosferica di  $\text{CO}_2$  (380-400 ppm) subiscono un repentino aumento fino al raddoppio dei valori in funzione del numero degli occupanti e delle ore di soggiorno negli interni si è voluta stimare l'interferenza di tale incremento sul processo fotosintetico al variare dell'incremento in PAR.

L'andamento dell'attività fotosintetica è risultato in tutte le specie proporzionale alla concentrazione di  $\text{CO}_2$  solo per PAR superiori alle 10  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  ad eccezione di *Ficus benjamin*, *Ficus elatica* e *Syngonium podophyllum* per le quali anche PAR 10 comporta una differenza nell'assimilazione netta tra i due livelli di  $\text{CO}_2$ . Per PAR superiori la fotosintesi incrementa più che proporzionalmente

e a PAR 200 20 specie mostrano un significativo incremento della assimilazione netta. In *Begonia rex*, *Calathea veitchiana*, *Codiaeum variegatum*, questa è il doppio con rispettivamente; 3,26 e 6,67  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  di carbonio organicato alle due concentrazioni di  $\text{CO}_2$  per *Begonia rex*, 1,34 e 3,48  $\mu\text{mol CO}_2 \text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$  per *Calathea veitchiana*, 1,55 e 3,07  $\mu\text{mol CO}_2 \text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$  per *Codiaeum variegatum*. Le due concentrazioni di  $\text{CO}_2$  non influenzano significativamente l'andamento e i valori di assimilazione di *Asplenium nidus* che rimangono molto simili per tutte le PAR considerate tra le curve fotosintetiche a 400 e 800 ppm di  $\text{CO}_2$ , con una fotosintesi netta totale media di 0,32 e 0,37  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  rispettivamente. In considerazione di una collocazione delle piante non prossima alle finestre dove a 1,5m di distanza la PAR disponibile è inferiore alle 10  $\mu\text{mol CO}_2 \text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$  e considerando che la PAR erogata da una comune lampada da 60w oltre i 15 cm di distanza dal bulbo fornisce una par di 10  $\mu\text{mol CO}_2 \text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$  può essere affermato che in tali condizioni la sopravvivenza delle piante indoor è condizionata esclusivamente dalla disponibilità luminosa.

Incrementi della concentrazione della anidride carbonica dovuti principalmente alla respirazione dell'uomo non favoriscono nessun incremento all'attività fotosintetica se non accompagnati da una disponibilità luminosa superiore alle 10  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ . Dove l'impiego del verde indoor prevede il posizionamento di apposite lampade per la crescita dei vegetali come quelle GROWLUX, ad una PAR media di 200  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  un innalzamento della concentrazione di anidride carbonica atmosferica intorno ad 800 ppm può provocare un incremento dell'attività fotosintetica media delle piante di circa il 30%.

Considerando che i tempi di accensione delle lampade, condizionati dalle ore di permanenza dell'uomo negli ambienti indoor, determinano il fotoperiodo artificiale per la pianta e che questo, sia per la breve durata complessiva di illuminazione e/o il rapido on-off delle accensioni può risultare insufficiente da permettere una fotosintesi netta positiva, è stata condotta una terza prova che ha analizzato l'andamento dell'attività fotosintetica a PAR costante e variabile su *Ficus elastica* e *Dieffenbachia picta* al fine di stabilire la miglior modalità di somministrazione della luce.

Poichè da studi si desume che sottoporre le piante ad intensità luminose variabili comporti una maggior efficienza fotosintetica, (Lakey et al. 2005, Kursar et al. 1993, Kirschbaum et al. 1988, Pearcy et al. 1985), sono stati confrontati gli effetti sull'assimilazione carbonica di livelli costanti e variabili di PAR per un periodo di 8 ore, che corrisponde alla durata media di utilizzo di un ambiente lavorativo. L'intensità ha influenzato la risposta fotosintetica sia in termini di andamento dell'assimilazione che di  $\text{CO}_2$  totale assimilata durante le 8 ore in entrambe le specie.

A 20  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  di PAR *Ficus elastica* presenta una fotosintesi netta è positiva, sebbene con valore medio molto basso (0,69  $\mu\text{mol CO}_2 \text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) per l'intero periodo. 40  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  di PAR comportano un incremento del 23% (0,85  $\mu\text{mol CO}_2 \text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) e non influenzano sostanzialmente l'andamento del processo fotosintetico come invece avviene con 80  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ . Con questo valore di PAR infatti oltre ad avere un'assimilazione media di 1,37  $\mu\text{mol CO}_2 \text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$  è ben evidente un andamento oscillatorio con due picchi (2  $\mu\text{mol CO}_2 \text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ), il primo a 30 minuti e il secondo a

4,5-5,5 ore dall'accensione delle lampade. A questa intensità luminosa la pianta presenta un rallentamento dell'assimilazione durante la 2° ora di illuminazione fino a livelli analoghi a quelli riscontrati alle *PAR* inferiori. L'adozione della illuminazione alternata 40-80  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  innalza a 1,80  $\mu\text{mol CO}_2 \text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$  la media dell'assimilazione e non comporta oscillazioni.

Analizzando la fotosintesi cumulativa con l'illuminazione alternata 40-80 si ha un'assimilazione totale di circa 52  $\text{mmol CO}_2/\text{m}^2$  mentre con *PAR* costante a 40 e 80  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  si raggiungono valori solamente di 25 e 40  $\text{mmol CO}_2/\text{m}^2$ . L'illuminazione alternata consente di raggiungere i quantitativi di  $\text{CO}_2$  organicata a 80  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  costanti già dopo 5 ore consentendo un risparmio in termini energetici.

Anche in *Dieffenbachia* le oscillazioni di intensità luminosa hanno influenzato la risposta fotosintetica durante le 8 ore molto similmente a *Ficus*. A 20  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  la fotosintesi netta presenta un valore di 0,56  $\mu\text{mol CO}_2 \text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$  e 40  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  di *PAR* ne comportano un incrementano del 5% (0,59  $\mu\text{mol CO}_2 \text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) pur non influenzando sostanzialmente l'andamento del processo fotosintetico. Ad 80  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  il processo fotosintetico presenta una fotosintesi netta di 32.23  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  che rispetto a *PAR* 40  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  è molto simile (33.23  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ). Dopo circa due ore e mezzo di illuminazione alle *PAR* 40 e 80  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  costanti *dieffenbachia* presenta un decremento fotosintetico anche se la fotosintesi netta permane essenzialmente comunque a livelli superiori allo zero. L'adozione dell'illuminazione alternata 40-80  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  innalza a 1,02  $\mu\text{mol CO}_2 \text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$  la media dell'assimilazione con una fotosintesi netta cumulativa di 53,40  $\text{mmol CO}_2/\text{m}^2$ , non comportando oscillazione nel processo fotosintetico rispetto alla durata complessiva di illuminazione. La fotosintesi cumulativa di *Dieffenbachia* con l'illuminazione alternata 40-80  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  è quindi di 53,40  $\text{mmol CO}_2/\text{m}^2$  mentre con *PAR* costanti a 20 e 40 e 80  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  sono raggiunti valori solamente di 27,7, 32,46, e 33,23  $\text{mmol CO}_2/\text{m}^2$ . L'illuminazione alternata consente di raggiungere i quantitativi di  $\text{CO}_2$  organicata a 80  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , dopo 5 ore e mezza molto similmente a *Ficus elastica* sebbene le potenzialità fotosintetiche delle due piante siano molto differenti.

*Ficus elastica* e *Dieffenbachia picta* presentano il tipico comportamento delle piante da sottobosco tropicale sensibili ai sunflecks, beneficiando di oscillazioni di intensità luminosa durante il processo fotosintetico. La fotosintesi netta cumulativa in una durata complessiva di 8 ore di illuminazione a *PAR* costante mostra un calo dopo alcune ore dall'attivazione in *Dieffenbachia*, e un andamento oscillatorio in *Ficus*. Per il fatto che con interventi di illuminazione a *PAR* modulata di 8 minuti viene organicata più  $\text{CO}_2$ , per la scelta di un opportuna illuminazione per tali piante negli interni si dovrebbe prevedere la realizzazione di un punto luce costituito dall'alternanza nell'accensione ogni 8 minuti di due lampade fornenti le *PAR* di 40 e 80  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  al fine di garantire i migliori livelli fotosintetici.

La moderna illuminazione architettonica prevede attualmente per abitazioni, scuole, uffici, ospedali l'uso di luce colorata a diverse finalità, quali il confort visivo, la sensazione di serenità e la

valorizzazione di punti di particolare interesse nonché per influire positivamente sul benessere dell'uomo. Nelle piante da interno per le quali la colorazione del fogliame ha un valore estetico particolarmente rilevante, l'uso di LED può contribuire al processo fotosintetico e a esaltare l'ornamentalità del fogliame (modificazione della variegatura fogliare e influenza sulla sintesi di pigmenti). Lo scopo della quarta prova è stato quello di definire l'effetto dell'illuminazione artificiale mediante LED a luce bianca, blu e rossa monocromatica in rapporto alla luce neon bianca tradizionale. È stata valutata l'influenza di questa luce sui principali parametri morfologici e fisiologici, correlati al grado di ornamentalità su *Ficus benjamin* 'Variegata' e *Iresine herbistii* per verificare se tali fonti possono rappresentare una valida alternativa nella sostituzione o integrazione di altre lampade per gli spazi verdi indoor. Le lampade sono state abbinate in modo da fornire diverse PAR di coltivazione. Con singolo tubo LED bianco si è fornita una PAR di  $20,6 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  con un consumo energetico di 15W, con LED bianco + LED blu si è garantita una PAR di  $36,6 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  con un consumo energetico di 15+15W, con LED bianco + Led rosso una PAR di  $32,64 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  con un consumo energetico di 15+15W e abbinando Neon Grow + Neon Cool si è somministrata una PAR di  $48 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  con un consumo energetico di 36+36W.

Tutte le combinazioni LED indagate possono rappresentare un'alternativa di sostituzione alla coltivazione con neon ed un risparmio energetico di oltre il 50%. Una PAR di  $20,6 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  della singola lampada LED bianco è sufficiente per mantenere la pianta in condizioni di sopravvivenza con un consumo di 15W a fronte dei 36W necessari per il funzionamento di ogni neon. La combinazione LED bianco + LED blu monocromatico favorisce il contenimento della taglia della pianta, caratteristica gradita nella fase di utilizzo indoor, una maggior produzione di sostanza secca e un'attività fotosintetica più elevata. Le quattro combinazioni di lampade hanno tuttavia erogato una PAR insufficiente compresa tra le  $20,6 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  in LED bianco singolo fino alle  $48 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  in Neon Grow + Neon Cool tale da a mantenere in Iresine la tipica variegatura fogliare. Tutte le piante accresciutesi sotto le differenti condizioni luminose hanno prodotto foglie non variegata dalla colorazione esclusivamente violaceo scura. Per quanto riguarda la variazione della variegatura fogliare in Ficus pur essendovi una differenza significativa a favore della formazione di foglie maggiormente variegata di verde e meno di bianco in coltivazione sotto LED bianco + LED blu, le percentuali di variegatura restano non percepibili ad occhio nudo per tutte le tesi. Non è stato preso in considerazione per LED rosso, il rapporto R/FR, influenzante positivamente la sintesi e il contenuto di pigmenti fogliari quali antociani (Suneetha A.,2002), in quanto il LED rosso monocromatico si è dimostrato dall'analisi allo spettrometro emettere una frequenza di lunghezze d'onda dai 616 ai 646 nm con un picco sui 636nm e non nella banda del rosso compresa tra i 656 e i 666nm come dichiarato dalla ditta costruttrice. È stata inoltre constatata per l'emissione di tutti i LED utilizzati la totale assenza di emissione nel far-red. Le piante sviluppatesi sotto le condizioni LED bianco + LED rosso monocromatico hanno raggiunto una taglia più elevata ma con valori molto simili a LED bianco singolo.

## BIBLIOGRAFIA:

Abbas N., Kumar D. Mclachlan N., 2006. *The psychological and physiological effects of light and colour on space users*. Engineering in Medicine and Biology 27<sup>th</sup> Annual International Conference. Shanghai, China. September 1-4:1228-1231.

Khattak A.M., Pearson S., 2005. *Light quality and temperature effects on anthurium growth and development*. Journal of Zhejiang University Science. 6(2).119-124.

Adams J. S., Clemens T. L., Parrish J. A., 1982. *Vitamin-D Synthesis and Metabolism after Ultraviolet Irradiation of Normal and Vitamin-D-Deficient Subject*. New England Journal of Medicine, 306, 12:722-25.

Altschul R., Herman I.H., 1953. *Ultraviolet Irradiation and Cholesterol Metabolism*. Seventh Annual Meeting of The American Society for the Study of Artherosclerosis:438-446.

Anselmo F., Lauritano A., 2005. *Valutazione della disponibilità di luce naturale all'interno di ambienti confinati con l'uso dei coefficienti di illuminazione diurna*. PhD thesis. Dipartimento di Ricerche Energetiche ed Ambientali, Università degli Studi di Palermo.

Araus J. L., Alegre L., Tapia L., Calafell R., Serret M. D., 1986. *Relationships between photosynthetic capacity and leaf structure in several shade plants*. 73(2). 1760-1770.

Bedonni B., 2001. *Studio e progettazione di spazi verdi per l'arredo di interni nell'ambito urbano*. PhD tesi. Università degli Studi di Bari-Bologna. pp.150.

Belyayev I. I., 1975. *Combined Use of Ultraviolet Radiation to Control Acute Respiratory Disease* Vestn Akad Med Nauk SSSR 3:37.

Benedetti F., Barbini B., Campori E., Smeraldi E., 2000. *Total sleep deprivation combined with lithium and light therapy in the treatment of bipolar depression: replication of main effects and interaction*. Psychiatry Research, 95(1), 43-53.

Benedetto A.H., Garcia A.F. 1992. *Adaptation of ornamental aroids to their indoor light environments, spectral and anatomical characteristics*. Journal of Horticultural Science. 67(2):179-188.

Blom T., Tsujita M. , Roberts G. 1995. *Far-red at end of day and reduced irradiance affect plant height of easter and asiatic hybrid lilies..* Annual meeting of American Society for Horticultural Science. Corvallis OR , USA 30(5):955-972.

- Bo Z., Yuhua L., Zhiru X. et al. 2007. *Ultraviolet a-specific induction of anthocyanin biosynthesis in the swollen hypocotyls on turnip (Brassica rapa)*. Journal of Experimental Botany. 10(4):1-11.
- Cassano., M. 1999. *La macchina della gioia*. Essere e Benessere 5:30-33.
- Chang C.Y., Chen P.K. 2005. *Human responses to window views and indoor plants in the workplace*. HortScience. 40:1354-1359.
- Chen J., Henley R.W., Henny R.J., Caldwell R.D., Robinson C.A. 2001. *Aglaonema cultivar differences in resistance to chilling temperatures*. J. Environ. Hort. 19:198-202.
- Chen J., Henny R.J., Chao T.C. 2003. *Somaclonal variation as a source for cultivar development of ornamental aroids*. Research Developmant in Plant Science. Kerala, India (1):31-43.
- Chen J., McConnel D.B., Norman D.J., Henny R.J. 2005. *The foliage plant industry*. Hort. Rev. 31:47-112.
- Chow K.L. 2004. *Degeneration of retinal Ganglion Cell in Infant Chimpanzees reared in darkness* .J. Comp. Neurol. 107:27-42.
- Christie E., John R., Jane E., Kevin S. 1997. *Determination of Anthocyanins, Flavonoids and Phenolic acids in potatoes colured cultivars of Solanum tuberosum L.* Journal of Science Food Agricultural. 77:45-57.
- Cornejo J.J., Munoz F.G., Ma C.Y., Stewart, A.J. 1999. *Studies on the decontamination of air by plants*. Ecotoxcology 8:311-320.
- Cropper P. 2001. *Predicting Time-Varying illuminance in Complex spaces whith Lighting control Systems*. PhD thesis. Institute of Energy and Suistanable Development. Montfort University, Leicester. Pp.142.
- Das Gupta T. K., Terz J. 1967. *Influence of Pineal Gland on the Growth and Spread of Melanoma in the Hamster*. Cancer Research (27):1306-1312.
- David W. 2000. *Regulation of flower pigmentation and growth: Multiple signalling pathways control anthocyanin sythesis in expanding petals*. J. Am. Soc. Hortic. Sci. 171:187-193.
- Deineka V., Grigor A. 2003. *Determination of Anthocyanins by high-performance liquid chromatography: regularities of retention*. Journal of Analitical Chemistry. 59(3):270-274.

Diffey, B. L. 1991. *Solar ultraviolet radiation effects on biological systems*. Review in Physics in Medicine and Biology 36(3):299-328.

Ding-Jian H., Tang-Xian H., YeZeng J. 2007. *Elementary studies on the adaptability of the rainforest plant in the exhibition area of Shangai Sience & Technology Museum whith artificial illumination*. Journal of Shanghai Jiaotong University Agricultural Science. 25(3):312-316.

Dresler A. 1962. *Availability of daylight at various latitudes*. Light and Lighting. 55(10):288-290.

Ellen L., Joel K., Stacey L. 2007. *Gigantea acts in blue light signalling and has biochemically separale roles in circadian clock and flowering time regulation*. Plant physiology. 143(1):473-486.

Eszter B., Jòzsef D., Gyula T. 2001. *HPLC study on the carotenoid composition of Calendula products*. Journal of biochemical and biophysical methods. 53(1):241-250.

Fan-Yang P., Guo-Zhi H., Yu-Rang C. 1996. *Studies on the photosytetic characteristics of philodendron erubescens "Green Emerald"*. Journal of Shouth Cina Agricultural University. 14(4):68-70.

Felten., D. 1991. *A personal perpective on psychoneuroimmunology*. Psychoneuroimmunology. Quarterly J Medicine 88:476-482.

Fjeld T. Veiersted B. Sandvik L. Riise G. Levy F. 1998. *The Effect of Indoor Foliage Plants on Health and Discomfort Symptoms in Hospital patients*. Indoor Built Environ. 7:204-209

Fonteno W.C., McWilliams E.L. 1978. *Light compensation points and acclimatization of fuor tropical foliage plants*. Journal of American Society for Horticultural Science. 103(1):52-56.

Frenkel., R.E. 1987. *Light Therapy: The prevention, control and treatment of suicide*. The journal of Better Living. 5:64-72.

Engbers G.J., Harbinson J., Ieperen W. van., 2007. *Plant physiological acclimation to irradiation by light-emitting diodes (LEDs)*. Acta Hort. 761:183-192.

Giese M., Bauer-Doranth U., Langebarthels C., Sandermann H. 1994. *Detoxification of formaldehyde by spider oplant (Chlorophytum comosum L.) and soybean (Glycine max L.) cell suspension cultures*. Plant Physiol. 104:1301-1309.

Goethe J.W. 1997. *Theory of colours*. Mit Press. Cambridge.



- Goins G.D. 2002. *Growth, stomatal conductance, and leaf surface temperature of Swiss chard grown under different artificial lighting technologies*. Society of Automotive engineers Tech. Paper 2002-01-2338.
- Govil S., Gupta S.C. 1997. *Commercialization of plant tissue culture in india*. Plant Cell Tissue Organ Culture 51:65-73.
- Grimes DS. 1996. *Sunlight, cholesterol and coronary heart disease*. Quarterly J Medicine. 89:579-589.
- Haan J. W. 1990. *The light book: How natural and artificial light affects our health, mind and behavior*. Ballantine. N. Y. pp.680.
- Halaban R., 1969. *Effects of light quality on the circadian rhythm of leaf movement of a short-day-plant*. Plant Physiology. 44(4):973-977.
- Henny R.J., Chen J. 2003. *Foliage plant cultivar development*. Plant Breed. Rev. 23:245-290.
- Henriques M.H.F., Simoes A.M.A., Rocha J.M.S. 2007. *Identification of carotenoids and other pigments:new approach in experimental teaching*. 2<sup>nd</sup> Mercours Congress on Chemical Engineering. (11)1-10.
- Hill R.M. Marg E. 1963. *Single-cell response of the nucleos of the transpedicular tract in rabbit to monochromatic light on the retina*. Journal of neurophysiology 26:249.
- Hisamatsu T., Oyama-Okubo N., Ichimura K., Esaki S. Oi R. 2001. *Interaction of red and far red light modification with temperature on shoot extension and flowering in stock (Matthiola incana L.)*. Journal of Horticultural Science & Biotechnology. 77(1):1-8.
- Hoffmann S., Waaijenberg D. 2005. *Tropical and subtropical greenhouses a challenge for new plastic films. International Symposium on Design and Environmental Control of Tropica and Subtropical Greenhouses*. ISHS Acta Horticulturae. 578:187-194.
- Hollwich F. 1979. *The influence of Ocular Light Perception on Metabolism in Man and Animal*. American Journal of Physiology 96:224-231.
- Hovi T., Näkkilä J., Tahvonen R. 2004. *Interlighting improves production of year-round cucumber*. Scientia Horticulturae. 102:283-294.

Jeong M.II., Cho C.H., Lee J.M. 2004. *Production and breeding of cacti for grafting in Korea*. Chronica Hort. 44:7-10.

Johnson CR., Ingram DL., Nell TA., Rosenbaum SE. 1982. *Influence of light intensity and drought stress on Ficus benjamina L.* J. Am. Soc. Hortic. Sci. 181:147-153.

Johnson J. R. 1935. *The Effect of Carbon Arc Radiation on Blood Pressure and Cardiac Output* American Journal of Physiology .114:594-603.

Juslen H., Tenner A. 2005. *Mechanisms involved in enhancing human performance by changing the lighting in the industrial workplace*. International journal of Industrial Ergonomics. 35(5):843-855.

Kandinsky K., Klee U. 2000. *La teoria dei colori di Goethe*. pp.520.

Kenz I., Enmarker I. 1998. *Effect of office lighting on mood and cognitive performance and gender effect in work-related judgment*. Environment and behaviour. (30):553-567.

Khattak A.M. Pearson S. 1997. *The effects of light quality and temperature on the growth and development of chrysanthemum cvs bright golden anne and Snowdon*. Acta Hort. 435:113-122.

Kim J.H., Goins G., Wheeler R., Sager J.C. 2004. *Green-light supplementation for enhanced lettuce growth under red- and blue- light emitting diodes*. Hortscience 39:1617-1622.

Kirschbaum M., Pearcy R. 1988. *Concurrent measurements of oxygen and carbon dioxide exchange during light flecks in Alocasia macrorrhiza (L.)*. G. Don. Planta 174: 527-533.

Kripke D.F. 1985. *Therapeutic effect of brightLight in depression*. Annals of New York Academy of Science. 453:270-281.

Kubota S., Yamato T., Hisamatsu T., Esaki S., Oi R., Rho MS., Koshioka M. 2000. *Effects of red and far red rich spectral treatments and diurnal temperature alternation on the growth and development of petunia*. Journal of the Japanese Society for Horticultural Hcience. 69(4):403-409.

Kunitsina L A. 1970. *Therapeutic Action of Ultraviolet Irradiation in a Complex Treatment of Patients with Initial Cerebral Atherosclerosis*. Soviet Med. 33:89-98.

- Kursar T., Coley P. 1993. *Photosynthetic induction times in shade-tolerant species with long and short-lived leaves*. *Oecologia* 93:165-170.
- Yang C.Y., Chiu J.F., Cheng M.F., Lin M.C. 1997. *Effects of Indoor Environmental Factors on Respiratory Health of Children in a Subtropical Climate*. *ScienceDirect*. 25:78-85.
- Lohmeier L. 1986. *Let the Sun Shine*. East West. 6:36-39.
- Lawrence D., Jianxin Z., Seung W.W., Eduardo Z. 2002. *Phytochrome and blue light-mediated stomatal opening in the orchid, Paphiopedilum*. *Plant Cell Physiology*. 43(6):639-646.
- Leakey A., Press M., Scholes J. 2003. *High temperature inhibition of photosynthesis is greater under sunflecks than uniform irradiance in a tropical rain forest tree seedling*. *Plant Cell Environ.* 26:1681-1690.
- Leakey, A., Scholes, J. 2005. *Physiological and ecological significance of sunflecks for dipterocarp seedling*. *J Exp. Bot.* 56:469-482.
- Liberman, J. 1991. *Light: Medicine of the Future*. B. & C. S. Fe Bear. 31:111-118.
- Lohr V.I., Pearson-Mims, C.H. 1996. *Particulate matter accumulation on horizontal surface in interiors: influence of foliage plants*. *Atmos. Environ.* 30:2565-2568.
- Lykas CH., Petsani D., Kittas C., Papafotiou M. 2004. *Effect of a red to far red light filtering plastic film on growth of (gardenia jasminoides)*. V International Symposium on Artificial Lighting in Horticulture. *Acta Horticulturae* 711:256-261.
- Lüscher M., Boccasasso L., Balzarini G., 1976. *Il test dei colori*. Ed. Astrolabio, pp.174.
- Mannaker G.H. 1997. *Interior plantscapes: Installation, maintenance and management*. 3<sup>rd</sup> ed. Prentice-Hall, Upper Saddle River, NJ. Pp.456.
- Marchesi F. 2002. *La Luce che cura*, Tecniche Nuove, Milano. pp.402.
- Marchesi F. 1996. *Alimentazione ortomolecolare e stile di vita*. INFRAFIT. Milano. pp. 256.
- Marchesi F. 2000. *La fisica dell'anima*. Tecniche Nuove. Milano. pp. 211.

- McArdle W.D.1984. *Thermal adjustment to cold-water exposure in resting men and women*. J.Appl.Physiol. 56:1565.
- Ménard C., Dorais M., Hovi T., Gosselin, A. 2006. *Developmental and physiological responses of tomato and cucumber to additional blue light*. Acta Hort. 711:291-296.
- Mikhailov V. A. 1966. *Influence of Graduated Sunlight Baths on Patients with Coronary Atherosclerosis*. Sov Med. 29:76-84.
- Miller R.A., Zalik S. 1964. *Effect of light quality, Light intensity and Temperature on pigment accumulation in barley seedling*. Plant Physiology. 30:543-49.
- Moe R., Heins R. 1990. *Control of plant morphogenesis and flowering by light quality and temperature*. Acta Hort. 272:81-90.
- Morita T., Tokura H. 1989. *The influence of different wavelengths of light on human biological Rhythms*. Journal of Physiological anthropology. 17(3):91-96.
- Neer R. M. 1971. *Stimulation by Artificial Lighting of Calcium Absorption in Elderly Human Subjects*. Nature 229(22):255- 57.
- Nelson R. H., Ronald W. 1999. *Interior Landscapes: An American Design Portfolio Of Green Environments* . Rockport Publishers, United States, pp.190.
- Norris D., 2004. *Colonna di luce a Washington*. Costruire con la luce, 4:327-329. [www.detail.de/rw\\_5\\_Archive\\_It\\_HoleArtikel\\_5331\\_Artikel.htm](http://www.detail.de/rw_5_Archive_It_HoleArtikel_5331_Artikel.htm).
- Oelmuller R., Mohr, H. 1985. *Mode of coaction between blue/UV light and light adsorbed by phytochrome in light-mediated anthocyanin formation in the milo (Sorghum vulgare Pers.) seedling*. Poc. Nat. Ac. Sci. 82:6124-6128.
- Olusola K., Idowu A., Innocent C., Esan B., Oyelana A. 2007. *Cultivars of Codiaeum variegatum (L.) Blume (Euphorbiaceae) show variability in phytochemical and cytological characteristics*. African Journal of Biotechnology. 6(20):2400-2405.
- Orwell RL., Wood RL., Tarran J., Torpy F., Burchett MD. 2004. *Removal of benzene by the indoor plant/substrate microcosm and implications for air quality-water, air, & soil pollution*. Plant Physiol. 81:706-715.
- OSRAM. 2001. *I raggi infrarossi per l'industria e l'agricoltura*. Milano. pp. 56.

OSRAM. 1991. *Lampade per illuminazione generale*. Milano. pp.122.

Ott., J.N. 1985. *Color and Light: Their effects on plants, animal and people*. Journal of Biosocial Research. 7(1):145-158.

Oyabu T., Sawada A., Onodera T., Takenada K., Wolverton B. 2003. *Characteristic of potted plants for removing offensive odors*. Sensors Actuator 89:131-136.

Oyaert E., Volckaert E., Debergh P. C. 1998. *Growth of chrysanthemum under coloured plastic films with different light qualities and quantities*. 79:195-205.

Paul C. 2003. *Interiorscapes: Gardens Within Buildings*. Mitchell Beazley. USA. pp.170.

Pearcy R., Osteryoung K., Calkin H. 1985. *Photosynthetic responses to dynamic light environments by Hawaiian trees*. Plant Physiol. 79:896-902.

Pers M., Lao M., Scherer G. 2005. *Influence of different lamps on the growth and development on the short day plant Kalanchoe blossfeldiana*. V International Symposium on Artificial Lighting in Horticulture. ISHS Acta Horticulturae 711:156-167.

Peters C. 1994. *Fight the winter blues: Don't be sad, your guide to conquering seasonal affective disorder*. J. Cal. Gar. 5:124-133.

Philips Lighting, 1987. *l'illuminazione artificiale in orticoltura*. Olanda. pp.40.

Planck J.J. Schick J. 1974. *The effects of color on human behaviour*. Journal of the Association for Study in perception 9:4-16.

Putsovsko A., 1971. *Preventative Activity of Ultraviolet Rays on the Presence of Experimental Atherosclerosis*. Vop Kurort Fizioter 36:203-211.

Rajapakse NC., Kelly JW. 1992. *Regulation of chrysanthemum growth by spectral filters*. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 26:154-161.

Raviv, M. 1989. *The use of photoselective cladding materials as modifiers of morphogenesis of plants and pathogens*. Acta Hort. 246:275-284.

Richard L. G. 1977. *Interior Plantscaping: Building Design for Interior Foliage Plants*. McGraw-Hill. New York. pp. 182 .

Rosenthal M. Norman D. 1989. *Seasons of the mind*. Guilford. N. Y. pp.211.

Rosenthal M. Norman D. 1993. *Winter blues*. Guilford. N. Y. pp. 120.

Runkle E.S., Heins R.D. *Manipulating the light environment to control flowering and morphogenesis of herbaceous plants*. V International Symposium on Artificial Lighting in Horticulture. Acta Horticulturae 711:326-331.

Schauss A.G. 1985. *The physiological effect of color on the suppression of human aggression*. International Journal of Biosocial Research. 72:55-64.

Schauss.. A.G. 1979. *Tranquilizing effect of color reduces aggressive behavior and potential violence*. The Journal of Orthomolecular Psychiatry (4) 8:218-221.

Schiefthaler U., Russell A. W., Bolhàr-Nordenkamp H. R., Critchley C. 1999. *Photoregulation and photodamage in Schefflera arboricola leaves adapted to different light environments*. Australian Journal of Plant Physiology 26, 485–494.

Shimai H. 2002. *Effects of photoperiodic cycles and light qualities on shoot development and flowering in petunia plants*. Journal of the Japanese Society for Horticultural science. 71(6):756-769.

Shimizu H., Ma Z., Tazawa S. *Blue light inhibits stem elongation of chrysanthemum*. V International Symposium on Artificial Lighting in Horticulture. ISHS Acta Horticulturae 711: 401-408.

Shimoji H., Tokuda G., Tanaka Y., Moshiri B., Yamasaki H. 2005). *A simple method for two-dimensional color analyses of plant leaves*. Russian Journal of Plant Phhysiology. 53(1):126-133.

Slawomir W., Pawel S., Aneta S., et al. 2008. *Mass spectrometric study on new betacyanins in Iresine herbistii leaves*. I International Interdisciplinary Technical Conference of Young Scientists.. Poznan, Poland. 12:156-161.

Smith, A. 1991. *Seasonal affective disorder*. Thorsons. London. pp. 226.

Smith C.N., Scarborough E.F. 1981. *Status and development of foliage plant industries..* J.N. Cliffs, NJ. (6):1-39.

- Tan Nhut D., Takamura T., Watanabe H., Tanaka M. 2005. *Artificial light source using light-emitting diodes (LEDS) in the efficient micropropagation of Spathiphyllum plantlets*. Acta Hort. 692:137-142.
- Tast A., Hälli O., Ahlström S., Andersson H., Love R. 2001. *Seasonal alterations in circadian melatonin rhythms of the European wild boar and domestic gilt*. Journal of Pineal Research. 30(1): 43-49.
- Teresa A., James E., Desmond R., Nihal C. 2003. *Influence of photoselective films and growing season on stem growth and flowering of six plant species*. Journal of American Society Horticultural Science. 128(4):486-491.
- Thoringhton L. 1985. *Spectral, irradiance and temporal aspects of natural and artificial light, the medical effect of lights*. Annals of the New York Academy of Sciences, 453:156-163.
- UNI 10840. (2000) *Luce ed illuminazione – Locali Scolastici – Criteri generali per l'illuminazione artificiale e naturale*.
- Ursem, R. 2008. *Indoor Plant Hire Improves Office Moral And Productivity*. <http://ezinearticles.com/?Indoor-Plant-Hire-Improves-Office-Moral-And-Productivity&id=958729>
- Warren E.H. 1996. *A Study Into Effects of Types of Lights on Children*. National Research Council of Canada. Ottawa, Canada. 659:11-29.
- Warwick H. 2006. *Light signals and flowering*. Journal of Experimental Botany. 57(13):3387-3393.
- Weing C. 2002. *Phytochrome photoreceptors mediate plasticity to light quality in flowers of the brassicaceae*. American Journal of Botany. 89(2):230-235.
- Whybrow P., Bahr R. 1988. *The hibernation response*. Arbor House. N. Y. pp.540.
- Wohlfarth H. 1982. *The effect of Color Psycodinamic Environmental Modification Upon Psychophysiological and Behavioral reaction of severe Handicapped Children*. The int. Journ of Biosocial Research 3(1):10-38.
- Wolwerton B.C. 1989. *Interior lasndscape plants for indoor air pollution abatement*. Interiorscape 8(6):37-62.

- Wood R.A., Orwell R.L., Tarran J., Torpy F., Burkett M. 2002. *Potted-plant/growth media interaction and capacities for removal of volatiles from indoor air*. J. Hort. Sci. Biotechnol. 77:120-129.
- Wurtman R.J. 1975. *The effect of light on the human body*. Scientific American. 233. 68-77.
- Xiacchun M., Tim X., Xiaojing W. 2004. *The role of light in the regulation of anthocyanin accumulation in Gerbera hybrida*. Plant Grow Regulation. 44(11):243-250.
- Xu H.L., Gauthier L., Desjardins Y., Gosselin, A. 1997. *Photosynthesis in leaves, fruits, stem and petioles of greenhouse-grown tomato plants*. Photosynthetica 33:113-123.
- Zabaluyeva A. P. 1975. *General Immunological Reactivity of the Organism in Prophylactic Ultraviolet Irradiation of Children in Northern Regions*. Vesin Akad Med Sauk. 3:23-34.
- Zabaluyeva A. P. 1975. *The Mechanism of Adaptogenic Effect of Ultraviolet*. Vestn. Akad. Med. Nauk. 3:1-23.
- Zane M.D., Kim R. 1980. *Sunlight*. World Health Publications. Penryn. CA. pp.468.
- Zhao F. J., Dunham S. J., McGrath S. P. 2002. *Arsenic hyperaccumulation by different fern species*. New Phytologist. 44(3):421-430.
- Zhou B., Xu Z. 2007. *Ultraviolet A-specific induction of anthocyanin biosynthesis in the swollen hypocotyls of turnip (Brassica rapa)*. Journal of Experimental Botany 58(7):1771-1781.



## APPENDICE

Fot. 1 - Modulo di eco-design presentato alla HauteGreen, 2007 (Manhattan) sul tema: risparmio energetico, ottimizzazione dello spazio, funzionalità multiple. Oggetto: (briofite, per impiego interno).



Fot. 2 - Modulo di light-green-design proposto dalla MocoLoco come sistema di illuminazione sostitutivo delle lampade tradizionali nelle abitazioni.



Fot. 3 - Realizzazione di una parete verde per indoor landscape architecture del botanico Patrick Black (tema- garden outdoor tropical subtropical wall environmental) - nature Stylehive BM 53420.



## GRANDEZZE FOTOMETRICHE

Flusso luminoso - è la quantità di luce emessa da una lampada in un secondo. Si misura in *lumen* (lm) Efficienza luminosa - è il rapporto tra il flusso luminoso e la potenza elettrica assorbita. Si misura in *lumen per watt* (lm/W). Infatti due lampade di diverso tipo possono assorbire la stessa potenza ma emettere un flusso luminoso diverso. Quella che emette un flusso luminoso maggiore ha una maggiore efficienza luminosa. Illuminamento - è il flusso luminoso per metro quadro. Si misura in lux ( $lx = lm/mq$ ).

## RESA DEI COLORI

Un oggetto, che non emette luce propria, appare di un certo colore perchè riflette quelle determinate radiazioni luminose. Risulta ovvio che tali radiazioni devono essere presenti nell'emissione della lampada per essere riflesse. In una buona illuminazione devono essere presenti tutte le lunghezze d'onda visibili. Per le lampade esiste l'indice di resa cromatica (IRC) che può assumere un valore massimo di 100. Un IRC=85-100 indica un'ottima resa cromatica. Questa è buona tra i 70 e gli 85 e discreta tra i 50 e i 70.

## TEMPERATURA DI COLORE

Nel valutare l'emissione di sorgenti luminose viene presa in considerazione anche la temperatura di colore, misurata in *gradi kelvin* (K). Bassi valori della temperatura di colore corrispondono a tonalità calde e viceversa alti valori corrispondono a tonalità fredde. Ad esempio una luce bianca calda per interni si aggira sui 3000 K e una luce bianca per grandi magazzini si aggira sui 4000 K. La luce diurna supera i 5000 K.